

VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA  
FAKULTA STAVEBNÍ

KATEDRA KONSTRUKCÍ

Návrh nosné konstrukce horolezecké stěny  
Design of supporting structure of a mountain-track

Student:

Mikulenková Helena

Vedoucí bakalářské práce:

doc. Ing. Vít Křivý, Ph.D.

Ostrava 2016

## Zadání bakalářské práce

Student: **Helena Mikulenková**  
Studijní program: B3607 Stavební inženýrství  
Studijní obor: 3607R037 Konstrukce staveb  
Téma: **Návrh nosné konstrukce horolezecké stěny**  
**Design of supporting structure of a mountain-track**  
Jazyk vypracování: čeština

### Zásady pro vypracování:

V rámci bakalářské práce:

1. Navrhněte a staticky posuďte nosnou konstrukci horolezecké stěny. Statický posudek proveďte v souladu s platnými evropskými a národními normami. Požadavky na parametry horolezecké stěny konzultujte se zkušenými horolezci, například ze sdružení Družba Bouldering Wall v Ostravě.
2. Bakalářskou práci doplňte o potřebnou projektovou dokumentaci a technickou zprávu ke statickému výpočtu.

### Seznam doporučené odborné literatury:


- [1] ČSN EN 1990: Zásady navrhování konstrukcí. Praha : ČNI, 2004.
- [2] ČSN EN 1991-1-X: Zatížení konstrukcí (příslušné části). Praha: ČNI.
- [3] ČSN EN 1993-1-1: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla pro pozemní stavby. Praha: ČNI, 2006.
- [4] ČSN EN 1993-1-8: Navrhování ocelových konstrukcí - Část 1-8: Navrhování styčníků. Praha: ČNI, 2006.
- [5] Marek, P. a kol. Kovové konstrukce pozemních staveb, Praha: SNTL, 1985.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Vít Křivý, Ph.D.**

Datum zadání: 30.10.2015

Datum odevzdání: 02.05.2016

  
\_\_\_\_\_  
doc. Ing. Antonín Lokaj, Ph.D.  
vedoucí katedry




  
\_\_\_\_\_  
prof. Ing. Radim Čajka, CSc.  
děkan fakulty

### **Prohlášení studenta**

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracovala samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedla jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 2. 5. 2016

  
podpis studenta

Prohlašuji:

- Byla jsem seznámena s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 – školní dílo.
- Beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- Bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- Bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- Beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě 2. 5. 2016

## **Poděkování**

Děkuji vedoucímu práce, doc. Ing. Vítovi Křivému, Ph.D, za ochotu, trpělivost při změnách použitého materiálu a za cenné odborné rady.

Děkuji Ing. Davidu Mikoláškov, Ph.D. za odborné konzultace s výpočtovým modelem. A dále děkuji správci horolezecké stěny Adamu Hyvnarovi za podnět tohoto tématu a spolupráci při provádění stavebního průzkumu.

## ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Počet stran: 85

Předmětem této bakalářské práce je návrh a posouzení nosné konstrukce horolezecké stěny. Návrh je řešen především ze statického pohledu s ohledem na uživatelské požadavky, které jsou podloženy příslušnou normou a bohatými uživatelskými zkušenostmi autora této práce. Konstrukce je navrhována pro uzavřený prostor gymnastické tělocvičny a měla by navazovat na již existující horolezeckou stěnu. Nosná konstrukce je tvořena kombinací ocelových táhel pevnostní třídy S355 a rostlého dřeva třídy C24. Vnitřní síly byly stanoveny pomocí programu Scia Engineer, pro následující posudky konstrukce byl využit program Microsoft Excel. Příslušná projektová dokumentace byla vypracována v programu AutoCAD.

MIKULENKOVÁ, Helena. *Návrh nosné konstrukce horolezecké stěny*. Ostrava, 2016. Bakalářská práce, 85 stran. VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta stavební, Katedra konstrukcí. Vedoucí práce: doc. Ing. Vít Křivý, Ph.D.

Klíčové slova:

Horolezecká stěna, dřevěná konstrukce, ocelové táhlo, proměnné zatížení, mezní stav únosnosti, chemické kotvy, vnitřní síly.

## ABSTRACT

Number of pages: 85

The object of the thesis concerns with a design and examination of a supporting structure of a climbing wall. The design is considered from a static perspective with respect to the user's requirements, both based on relevant building and safety regulations and on personal experience of the thesis author. The structure is designed as an indoors structure and, specifically, as an extension to an existing climbing wall in a gym. The structure shall combine steel grade S355, and timber grade C24. The internal forces in the frame have been calculated using the Scia Engineer software, whilst the following evaluations of the structure have been performed using Microsoft Excel. The drawings were drawn in AutoCAD software.

MIKULENKOVÁ, Helena. Design of supporting structure of a mountain-track. Ostrava, 2016. Bachelor thesis, 85 p. VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Civil Engineering, Department of Construction. Supervisor: doc. Ing. Vít Křivý, Ph.D.

Keywords:

Climbing wall, timber construction, steel rod, variable load, ultimate limit state, chemical anchors, internal forces.

## Obsah

Seznam použitých zkratk	8
<b>1 ÚVOD</b>	<b>11</b>
<b>2 LEZENÍ NA UMĚLÝCH STĚNÁCH</b>	<b>12</b>
<b>3 STAVEBNÍ PRŮZKUM</b>	<b>14</b>
3.1 Umístění horolezecké stěny	14
3.2 Obvodové stěny	14
3.3 Stávající lezecká stěna	15
3.4 Zastřešení gymnastické tělocvičny	16
<b>4 ZATÍŽENÍ</b>	<b>17</b>
4.1 Zatížení stálé	17
4.2 Zatížení lezcem	18
4.3 Ostatní zatížení	19
<b>5 NÁVRH NOSNÉ KONSTRUKCE</b>	<b>20</b>
5.1 Výpočtový model konstrukce	22
5.1.1 Modelování prutů	22
5.1.2 Zadávání podpor	22
<b>6 ZATĚŽOVÁNÍ MODELU NOSNÉ KONSTRUKCE</b>	<b>24</b>
6.1 Stálé zatížení	24
6.2 Proměnné zatížení	24
6.2.1 Statický účinek lezce	24
6.2.2 Dynamický účinek lezce	25
6.3 Kombinace zatížení	30
<b>7 POSUZOVÁNÍ DŘEVĚNÝCH PRVKŮ</b>	<b>31</b>
7.1 Mezní stav únosnosti	31
7.1.1 Tah rovnoběžně s vlákny	32
7.1.2 Tlak rovnoběžně s vlákny	32
7.1.3 Vzpěrný tlak	32
7.1.4 Smyk	34
7.1.5 Ohyb	34
7.1.6 Kombinace ohybu a osového tahu	35
7.1.7 Kombinace ohybu a osového tlaku	35
7.1.8 Kombinace ohybu a vzpěrného tlaku	35
<b>8 Posouzení dřevěného prvku</b>	<b>37</b>
8.1 Návrhové pevnosti dřeva	37
8.2 Průřezové a materiálové charakteristiky prvku	37
8.3 Vnitřní síly	38

8.4	Tah rovnoběžně s vlákny .....	39
8.5	Tlak rovnoběžně s vlákny .....	39
8.6	Smyk .....	39
8.7	Ohyb.....	40
8.8	Kombinace ohybu a osového tahu.....	41
8.9	Kombinace ohybu a osového tlaku .....	41
8.10	Kombinace ohybu a vzpěrného tlaku.....	41
<b>9</b>	<b>POSOUZENÍ OSTATNÍCH DŘEVĚNÝCH PRVKŮ .....</b>	<b>43</b>
9.1	Prvek B5 .....	43
9.2	Prvek B6 .....	44
9.3	Prvek B33 .....	47
9.4	Prvek B34 .....	49
9.5	Prvek B71 .....	51
9.6	Prvek B75 .....	53
9.7	Prvek B76 .....	55
9.8	Prvek B146 .....	57
9.9	Prvek B153 .....	58
9.10	Prvek B175 .....	60
9.11	Prvek B190 .....	62
9.12	Prvek B195 .....	64
9.13	Prvek B196 .....	66
<b>10</b>	<b>POSUZOVÁNÍ OCELOVÝCH TÁHEL .....</b>	<b>69</b>
10.1	Maximální tahové síly .....	69
10.2	Posudky jednotlivých táhel.....	69
<b>11</b>	<b>NÁVRH A POSOUZENÍ KOTVENÍ NOSNÉ KONSTRUKCE.....</b>	<b>71</b>
11.1	Kotvení do ŽB věnce .....	71
11.2	Posouzení ohybové únosnosti ŽB věnce .....	72
11.2.1	Výpočet únosnosti ŽB věnce .....	74
11.2.2	Posouzení ohybové únosnosti .....	75
11.3	Kotvení do zdiva .....	76
11.3.1	Zatížení kolmo k rovině zdiva.....	76
11.3.2	Svislé zatížení v rovině zdiva .....	78
11.3.3	Návrh a posouzení kotvení .....	79
<b>12</b>	<b>Závěr.....</b>	<b>81</b>
<b>13</b>	<b>Seznam použité literatury.....</b>	<b>82</b>
13.1	Normy .....	82
13.2	Literatura .....	82



<b>13.3</b>	<b>Internetové zdroje.....</b>	<b>82</b>
<b>14</b>	<b>Přílohy .....</b>	<b>83</b>

## Seznam použitých zkratk

### Písmena velké latinské abecedy

$A$	plocha průřezu [ $\text{m}^2$ , $\text{mm}^2$ ]
$A_{ef}$	efektivní plocha průřezu [ $\text{m}^2$ , $\text{mm}^2$ ]
$A_s$	plocha výztuže [ $\text{mm}^2$ ]
$A_l$	plocha zděné stěny pro zatěžovací šířku 1 m [ $\text{mm}^2$ ]
ČSN	Česká technická norma
$E$	modul pružnosti oceli
$E_{0,05}$	hodnota 5% kvantilu modulu pružnosti [MPa]
$F$	bodová síla [kN]
$F_{b,Ed}$	návrhová smyková síla působící na hmoždinku [kN]
$F_{b,Rd}$	únosnost hmoždinky ve smyku [kN]
$F_s$	síla ve výztuži [N]
$G$	stale zatížení
$I$	moment setrvačnosti průřezu [ $\text{m}^4$ , $\text{mm}^4$ ]
$L$	délka [m, mm]
$L_{cr,y}$ , $L_{cr,z}$	vzpěrné délky pro vybočení v rovině nebo z roviny prvku [mm]
$M_{Ed,y}$ , $M_{Ed,z}$	návrhový ohybový moment k příslušným osám [kN]
$N_{Ed}$	návrhová normálová síla [kN]
$Q$	proměnné zatížení
$R_x$ , $R_z$	reakce v příslušných osách [kN]
ULS	Umělá lezecká stěna
$V_{Ed,x}$ , $V_{Ed,z}$	návrhová posouvací síla v příslušných osách [kN]
$W_y$ , $W_z$	modul průřezu k hlavním osám [ $\text{m}^3$ , $\text{mm}^3$ ]
$Z$	modul průřezu zdiva [ $\text{m}^3$ , $\text{mm}^3$ ]

### Písmena malé latinské abecedy

$a_1$ , $a_2$	součinitelé vyjadřující podmínky uložení nosníku
$b_{ef}$	efektivní šířka profilu [mm]
$b$	šířka [m, mm]
$c_{min,b}$	je minimální krycí vrstva s přihlédnutím na soudružnost, většinou je rovna $\emptyset$ výztuže
$c_{min,dur}$	je minimální krycí vrstva závislá na stupni vlivu prostředí

$\Delta c_{dev}$	toleranční zvětšení
$d$	účinná výška průřezu
$f_{c,d}$	návrhová krychelná pevnost betonu v tlaku
$f_{c,k}$	charakteristická krychelná pevnost betonu v tlaku
$f_{c,0,d}$	návrhová pevnost v tlaku rovnoběžně s vlákny
$f_{c,0,k}$	charakteristická pevnost v tlaku rovnoběžně s vlákny
$f_d$	návrhová hodnota pevnosti materiálu
$f_k$	charakteristická hodnota pevnosti materiálu
$f_{m,y,d}, f_{m,y,d}$	návrhová pevnost v ohybu k příslušným osám
$f_{m,k}$	charakteristická pevnost v ohybu
$f_{t,0,d}$	návrhová pevnost v tahu rovnoběžně s vlákny
$f_{t,0,k}$	charakteristická pevnost v tahu rovnoběžně s vlákny
$f_{vd}$	návrhová pevnost ve smyku
$f_{vk}$	charakteristická pevnost ve smyku
$g_k$	charakteristická hodnota stálého zatížení [ $\text{kNm}^{-1}$ , $\text{kNm}^{-2}$ ]
$h$	výška profilu [mm]
$h_{ef}$	efektivní výška profile [mm]
$i_y, i_z$	poloměry setrvačnosti k příslušným osám
$k_{cr}$	součinitel trhlin pro únosnost ve smyku
$k_{c,y}, k_{c,z}$	součinitelé vzpěrnosti
$k_m$	součinitel zohledňující vliv redistribuce ohybových napětí v průřezu a vliv nehomogenit materiálu v průřezu
$k_{mod}$	modifikační součinitel
$k_y, k_z$	součinitel vzpěrnosti
$l$	délka [m, mm]
$l_{ef}$	efektivní délka [m, mm]
$l_n$	je světlá vzdálenost mezi líci podpor
$m$	hmotnost [kg, g]
$n$	je počet prutů výztuže
$q_k$	charakteristická hodnota proměnného zatížení [ $\text{kNm}^{-1}$ , $\text{kNm}^{-2}$ ]
$t$	tloušťka [mm]

#### Písmena řecké abecedy

$\alpha$	úhel mezi prvky
----------	-----------------

$\beta_c$	součinitel křivosti pro rostlé dřevo
$\lambda_y, \lambda_z$	štíhlosti
$\lambda_{rel,y}, \lambda_{rel,z}$	poměrné štíhlosti
$\gamma_m$	součinitel spolehlivosti materiálu
$\gamma_{m0}$	součinitel spolehlivosti materiálu pro kteroukoliv třídu
$\gamma_G$	dílčí bezpečnostní součinitel pro trvalé účinky
$\gamma_Q$	dílčí bezpečnostní součinitel pro proměnné účinky
$\sigma_{c,0,d}$	návrhové napětí v tlaku rovnoběžně s vlákny
$\sigma_{c,0,k}$	charakteristické napětí v tlaku rovnoběžně s vlákny
$\sigma_{m,d}$	návrhové napětí v ohybu
$\sigma_{m,k}$	charakteristické napětí v ohybu
$\sigma_{t,0,d}$	návrhové napětí v tahu rovnoběžně s vlákny
$\sigma_{t,0,k}$	charakteristické napětí v tahu rovnoběžně s vlákny
$\tau_d$	návrhové napětí ve smyku
$\tau_k$	charakteristické napětí ve smyku
$\psi_2$	součinitel proměnného zatížení
$\emptyset$	průměr [mm]

# 1 ÚVOD

Cílem práce je navrhnout, především ze statického hlediska, nosnou konstrukci horolezecké stěny, navazující na stávající stěnu umístěnou v gymnastické tělocvičně v prostorách zimního stadiónu Kopřivnice. V práci je navržena a posouzena konstrukce s ohledem na únosnost a bezpečnost. Dále je navrženo kotvení nosné konstrukce horolezecké stěny ke stávající nosné konstrukci zimního stadiónu. Naopak v práci nejsou detailně řešeny spoje dřevěných a ocelových prvků.

Rozhodujícím důvodem k výběru tohoto tématu bylo osobní nadšení autora této práce pro horolezectví a zájem o dřevěné konstrukce. Osobní zkušenost s horolezectvím a zároveň praxe jako odborný instruktor v lezeckém a lanovém centru vedla k efektivnímu návrhu konstrukce zejména z uživatelského hlediska.

Horolezectví se stává stále oblíbenějším sportem nejen pro profesionální lezce, ale i pro širokou veřejnost všech věkových kategorií od nejmenších dětí po seniory.

Během navrhování prošla konstrukce několika změnami, jak materiálu, tak i tvaru, aby bylo dosaženo ideálního rozložení vnitřních sil a zároveň vyhověla všem podmínkám daných příslušnými normami.

## 2 LEZENÍ NA UMĚLÝCH STĚNÁCH

Lezení na umělých stěnách je příjemnou alternativou pro ty, kteří mají respekt ze skal a jejich nebezpečných nástrah, jako je například padající kamení zvětralé skály nebo staré zkorodované jištění. Ale také jsou lezci považováni za tréninkovou aktivitu a přípravu na pro lepší výkony na sezónní lezení po skalách. V dnešní době je umělých lezeckých stěn nespočet, jen v České republice více než sto. Od venkovních, přes montované přemístitelné, tréninkové tzv. bouldery, až po vnitřní halové stěny. Stěna řešená v této bakalářské práci se týká naposled zmíněných, vnitřních stěn.

*První zmínky o umělých lezeckých stěnách sahají až do středověku, kdy bylo potřeba trénovat tzv. „žebříkáře“ k výstupům na hradby. [12] V období druhé světové války vznikla významná umělá stěna v Paříži, poté v poválečném období a v 60. letech v různých částech světa. Skutečný rozvoj umělých stěn je zaznamenán až v počátku 80. let. První umělá venkovní lezecká stěna v České republice vznikla až na konci 80. let na pilíři nedostavěného mostu „Hitlerovy dálnice“ u Brněnské přehrady. V letech 90. už se začaly lezecké stěny stavět ve velkém.*



Obrázek.1 Pilíř nedokončené Hitlerovy dálnice

Umělé lezecké stěny jsou povětšinou tvořeny ocelovou nebo dřevěnou příhradovinou, případně jejich kombinací. Výhodou použití dřeva jsou především dobré dynamické vlastnosti, kterých je využito při zachycení pádu lezce do jednoho osobního jistícího bodu.

Použitím kombinace oceli a dřeva tak dosáhneme konstrukce, která je dostatečně pevná a tuhá, staticky i dynamicky, a zároveň lehká.



**Obrázek 2.2** Dřevěná konstrukce lezecké stěny v Rožnově pod Radhoštěm



**Obrázek 2.3** Ocelová konstrukce lezecké stěny Big Wall ve Vysočanech

### 3 STAVEBNÍ PRŮZKUM

V rámci stavebního průzkumu byla zajištěna stavební dokumentace části zimního stadionu v Kopřivnici, ve které se nachází gymnastická tělocvična s řešenou lezeckou stěnou. Dále byla platnost této dokumentace ověřena.

#### 3.1 Umístění horolezecké stěny

Navrhovaná horolezecká stěna bude umístěna v gymnastické tělocvičně zimního stadionu, která se nachází nalevo od vstupní haly do stadionu. Nad ní je posilovna RODO. Do tělocvičny se vchází chodbou vedoucí v podélném směru za tělocvičnou a šatnami. Nad šatnami a touto chodbou se v patře nachází kanceláře Správy sportovišť Kopřivnice a také vchod na tribunu. Na obr. je možné spatřit okno, vedoucí světlo do chodby ke kancelářím. Toto okno bude zastavěno konstrukcí lezecké stěny, je možné ho tedy použít jako montážní vchod do konstrukce navrhované stěny. Do tělocvičny je možný vstup i přímo ze vstupní haly, dveřmi viditelnými na obr 3.1. Tyto dveře jsou za běžného provozu uzamčeny, odemykají se pouze při gymnastických závodech. Proto musí být zachovány a lezecká stěna, tak povede okolo nich.



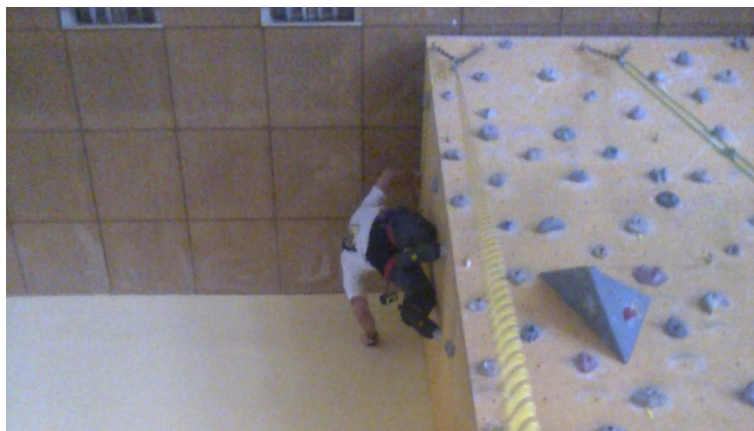
Obrázek 3.1 Pohled na stávající lezeckou stěnu

#### 3.2 Obvodové stěny

Z projektové dokumentace byla zjištěna tloušťka stěny 500 mm z cihly plné pálené. Zdivo samotné není vyztuženo. Tato stěna je vyztužena železobetonovým (dále jen ŽB) věncem o výšce 300 mm umístěným ve výšce 7,2 m. ŽB věnec je z betonu B15 vyztuženého



čtyřmi pruty betonářské oceli 10425(V) o průměrech 12 mm. Přítomnost ŽB věnce a výztuže zdiva byla ověřena pomocí profometru zapůjčeného v laboratořích stavebních hmot fakulty stavební.



Obrázek 3.2 Ověřování přítomnosti ŽB věnce

### 3.3 Stávající lezecká stěna

Stávající lezecká stěna je tvořena 3 jednoduchými profily. První profil umístěný vpravo je rovný, 2. prostřední profil je v mírném sklonu převislý a 3. profil je převislý pod více úhly, tento profil má dřevěnou deskovou konstrukci, tvořenou dřevěnými trámy a překližkou (viz obr. 3.4). První dva zmíněné profily mají ocelovou příhradovou konstrukci. (viz obr. 3.3).



Obrázek 3.3 Konstrukce 1. a 2. profilu stávající lezecké stěny



Obrázek 3.4 Konstrukce 3. profilu stávající lezecké stěny

Stávající lezecká stěna je kotvena do již zmíněného ŽB věnce provrtáním závitovou tyčí o průměru 12 mm naskrz do posilovny (obr. 3.5 a obr. 3.6). Dále jsou svislé nosné trámy zavěšené do zdiva pomocí 120 mm dlouhých hmoždinek. Obdobně bude navrženo i kotvení nové části lezecké stěny. Pokud takovéto kotvení nebude dostačující, bude zkombinováno s dalším kotvením.



Obrázek 3.5 Kotvení stávající lezecké stěny – závitová tyč naskrz zdivem – v tělocvičně



Obrázek 3.6 Kotvení stávající lezecké stěny – závitová tyč naskrz zdivem – v posilovně

### 3.4 Zastřešení gymnastické tělocvičny

Gymnastická tělocvična je zastřešena ocelovým příhradovým vazníkem. Mezi vazníky je umístěna lávka z dřevěných trámů sloužící pro obsluhu osvětlení. Po příslušném posouzení těchto vazníků a trámů, je možné kotvit konstrukci horolezecké stěny i do stropu. Posouzení takového kotvení není v bakalářské práci řešeno.



Obrázek 3.7 Zastřešení gymnastické tělocvičny



Obrázek 3.8 Lávka pro obsluhu osvětlení

## 4 ZATÍŽENÍ

V následující kapitole jsou rozepsány jednotlivé složky zatížení umělé lezecké stěny v charakteristických a návrhových hodnotách.

### 4.1 Zatížení stálé

Jako stálé zatížení lezecké stěny se uvažuje tíha opláštění a vlastní vybavení stěny, jako jsou lana, lezecké chyty a upevňovací materiál.

Opláštění stěny může být dřevěné, laminátové, freeform nebo polykarbonátové. Dřevěné opláštění je vyrobeno z březové překližky tl. 18 mm. Profilovost lezecké stěny je omezena možnostmi překližky, která je těžko tvarovatelná. Složitější profily lze provést použitím trojúhelníkových ploch nebo úzkými pásy pro zaoblení. Překližka má zdrsňený povrch pomocí nátěrů. V překližce jsou osazeny matice pro umístění lezeckých chytů v hustotě až 50 kusů na metr čtvereční. Laminátové opláštění je tvořeno modulovými dílci již tvarovanými do různých tvarů. Modulové dílce o velikosti 1x1 m jsou osazeny 8-12 maticemi pro lezecké chyty. Opláštění freeform dokonale imituje povrch skály, jak tvarem, tak i svým zdrsňeným povrchem. Toto opláštění je ručně vyráběno ze sklených vláken a polyesterové pryskyřice do rozmanitých tvarů profilu, což opláštění laminátovými dílci neumožňuje. Pomocí polykarbonátového opláštění získáme možnost umístění lezeckých chytů i tam, kde je nutné zachovat okenní otvory. Pro navrhovanou stěnu bude uvažováno překližkové opláštění, a to proto, že bude navazovat na stávající část lezecké stěny ze stejného materiálu a taky kvůli nižším stavebním nákladům.

Lezecké chyty se na umělých lezeckých stěnách obvykle vyskytují v počtu 5 až 8 kusů na metr čtvereční a 2 až 3 kusy stupů, což jsou malé chyty využívané především nohama lezce. Materiál, ze kterého jsou chyty vyráběné, je různý. Může to být např. křemičitý písek pojený epoxidovou nebo polyesterovou pryskyřicí nebo polyuretan. Dříve se používaly také chyty dřevěné, ale od jejich výroby se již upustilo. Chyty ze směsi epoxidu a křemičitého písku jsou již také méně vyráběné, ale protože jsou nejtěžší ze tří zmíněných typů, budou použity pro výpočet zatížení lezeckými chytami. Celková hmotnost chytů na metr čtvereční bývá uvažována okolo 5 kg, což odpovídá mému kontrolnímu měření uvedenému dále. Vybrala jsem skupinu 10 typizovaných chytů a stupů o různých velikostech a tvarech, tak jak obvykle bývá jejich rozložení na metr čtvereční, viz obr. 4.1, a následně je zvážila. Na fotografii je vedle jednotlivých chytů uvedena hmotnost a počet mnou použitých chytů. Chyty jsou k překližce připevněny imbusovými šrouby M10 pevnostní třídy 8.8 o hmotnosti

50 g. Zjištěná celková hmotnost lezeckých chytů a šroubů na metr čtvereční je 4,5 kg. Pro výpočet použiji zaokrouhlení na 5 kg.



Obrázek 4.1 Ukázka chytů s jejich hmotnostmi

Na umělých lezeckých stěnách se používají dynamická lana o různých průměrech a délkách. Délka lana je závislá na výšce a velikosti přesahu profilu, průměr lana bývá 10-11 mm. Pro tuto lezeckou stěnu bylo doporučeno lano o průměru 10,5 mm, vážící 69 g/m. Lezecké lana budou trvale působit v každém horním jisticím bodě jako bodové zatížení. V tomto bodě bude maximální délka lana 16,3 m. Pro nejefektivnější trénink na lezení na skalách lezci často lezou „na prvého“. To znamená, že si lezec stáhne lano na zem a používá postupového jištění – osobních jisticích bodů. Při takovémto stylu lezení je působiště padajícího lezce v posledním zajištěném osobním jisticím bodě. Stejně tak působí i lano, s proměnnou hodnotou zatížení podle výšky, ve které je lezec zajištěn. Tyto délky lan budou rozepsány v tab. 6.2, tab. 6.3 a tab. 6.4.

Zatížení od lana se určí dle:

$$F_{lano,k} = m_{lano} * g * l_{lano} / 1000 \quad (4.1)$$

## 4.2 Zatížení lezcem

Zatížení lezcem se uvažuje statické a dynamické. Statické zatížení je vyvoláno lezcem, který svým pohybem způsobuje gravitační zatížení překližky. Toto zatížení je podle [1] vyjádřeno bodovou silou 0,8 kN. Pro návrh a posudek konstrukce byla tato síla převedena na plošné zatížení.

Dynamický účinek na lezeckou stěnu, způsobený padajícím lezcem je vyjádřen bodovou silou 6,6 kN. Tato síla má působiště v každém osobním jistícím bodě, vždy ale právě v jednom ze všech na dané konstrukci. *Při výpočtu zatížení padajícím lezcem se musí uvažovat nejméně příznivý úhel  $\pm 12,5^\circ$  od vertikální osy.* [1]

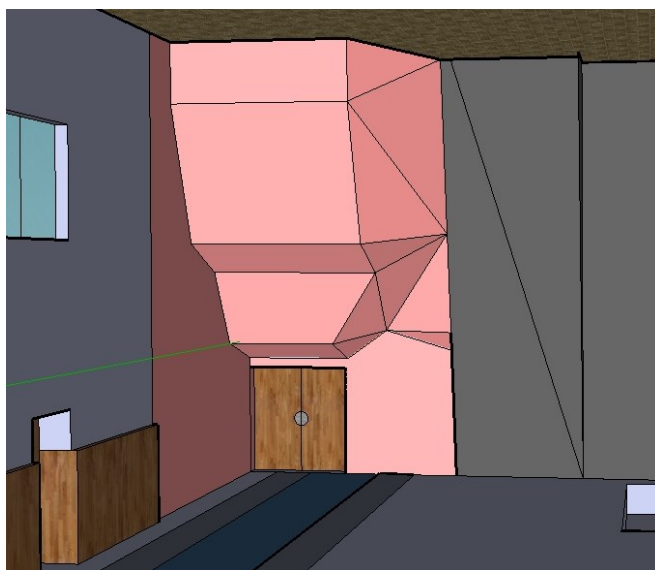
#### **4.3 Ostatní zatížení**

Jelikož se navrhovaná lezecká stěna nachází uvnitř budovy, neuvažuje se zatížení větrem a sněhem. Dále se neuvažuje ani účinek teploty na konstrukci, v hale je stálá teplota.



## 5 NÁVRH NOSNÉ KONSTRUKCE

Tvar nosné konstrukce byl navržen dle požadavku správce lezecké stěny v Kopřivnici. Ten požaduje tvar lezecké stěny podle obr. 5.1. Dále požaduje, aby lezecká stěna měla alespoň 5 výstupových cest. Vzhledem ke složitosti levé části profilu, bylo dohodnuto, že zde bude zpočátku jedna výstupová cesta, později rozvětvená do 2. V jednodušším profilu vlevo budou 3 výstupové cesty (viz obr. 6.2). Tyto mají podobnou konstrukci, jsou značené jako výstupové cesty A, B, C, příp. příčné vazby A, B a C. Zbývající rozvětvená cesta je značena jako výstupová cesta D, po rozvětvení D1 (vlevo) a D2 (vpravo).



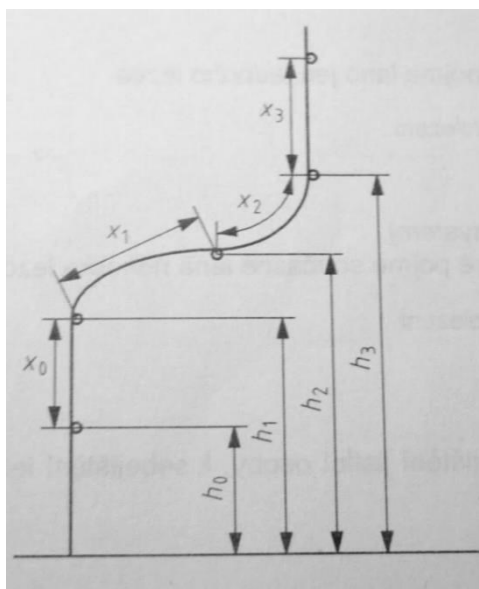
Obrázek 5.1 Návrh tvaru nosné konstrukce

Dalším požadavkem bylo použití materiálu. Správce požaduje, aby byla konstrukce lehce sestavitelná. Tzn., aby byl použit snadno dostupný stavební a spojovací materiál. Spoje ve složitých styčnicích budou vyrobeny na míru, pomocí styčnickových plechů. S přihlédnutím na možnosti kotvení konstrukce byl zvolen nosný systém kombinace rostlého dřeva a ocelových táhel.

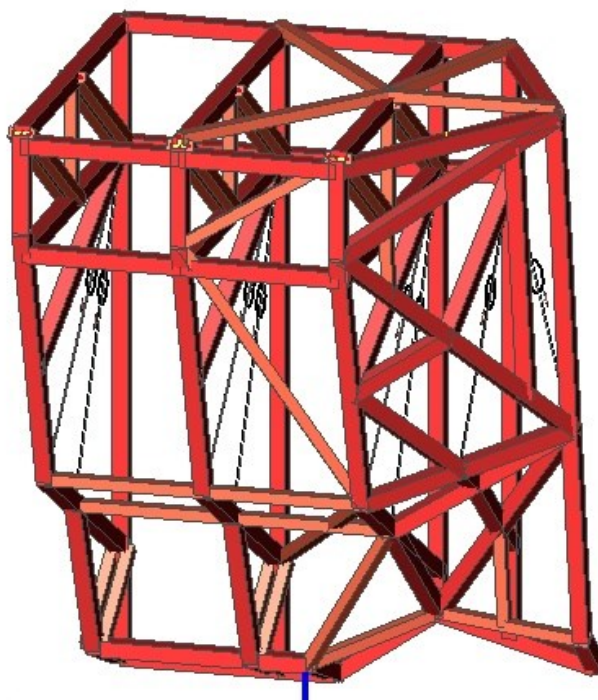
Tuhost mezi jednotlivými vazbami je zajištěna překližkovým opláštěním. Pro montážní stav jsou navržena ztužidla mezi vazbou B a C z dřevěných trámů o rozměrech 100x100 mm.

Tvar nosné konstrukce byl navržen především dle požadavků normy pro lezecké stěny. [1] Ta říká, že všechny jistící body musí být kotveny skrz překližku přímo do nosného nebo pomocného prvku. V žádném případě ne jen do samotné překližky. Pro výstupové cesty A, B a C jsou příčné vazby přizpůsobené požadovanému tvaru lezecké stěny a jistící body budou

kotveny přímo do trámů o rozměrech 140x140 mm. Pro výstupové cesty D, příp. D1 a D2, musely být přidány pomocné trámy. A to prvky B75, B76, B124, B195 a B196<sup>1</sup>. Tyto jsou kotvené pomocí úhelníků k hlavním trámům, které určují tvar. Tato norma také určuje vzdálenost osobních jisticích bodů. V tomto případě, kdy je lezecká stěna odkloněná o více než 5° od svislice, musí být osobní jisticí body vzdáleny maximálně o vzdálenost  $x=1$  m. Tato vzdálenost  $x$  se počítá podle obr. 5.2.



Obrázek 5.2 Vzdálenosti osobních jisticích bodů [1]



Obrázek 5.3 Tvar nosné konstrukce lezecké stěny

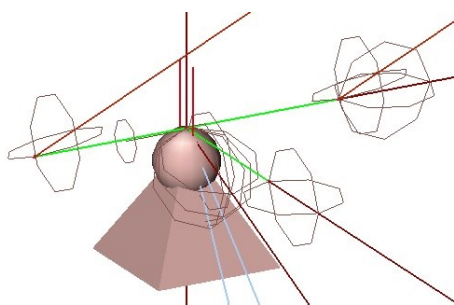
<sup>1</sup> Značení všech prvků je zobrazeno v příloze 4 – Výkresová dokumentace

## 5.1 Výpočtový model konstrukce

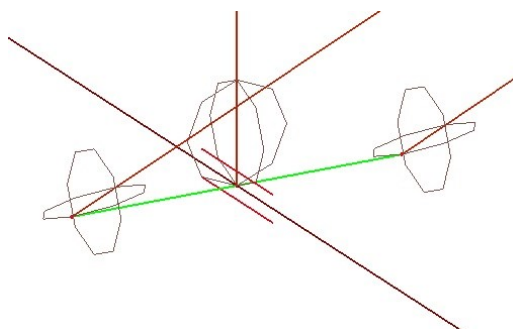
Konstrukce byla namodelována nejprve jako drátěný model v software AutoCAD 2014. Z něj poté importována do výpočtového software Scia Engineer 15.2.

### 5.1.1 Modelování prutů

Excentricity ztužujících prvků byly zadány pomocí prutů se zvýšenou tuhostí. Ta byla zadána zvýšením modulu pružnosti  $E$  o 2 řády, tedy na 21 000 GPa.

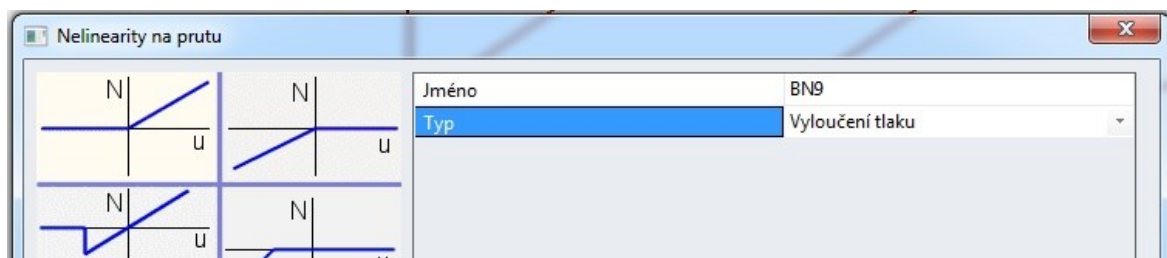


Obrázek 5.4 Tuhé pruty při vetknutí do ŽB věnce



Obrázek 5.5 Tuhé pruty vyjadřující přípoj ztužujících diagonál

Při modelování ocelových táhel bylo využito nelinearity na prutu – vyloučení tlaku. Tímto se zadá, že prvek může přenášet pouze tah.



Obrázek 5.6 Ukázka zadávání nelinearit na prutu

### 5.1.2 Zadávání podpor

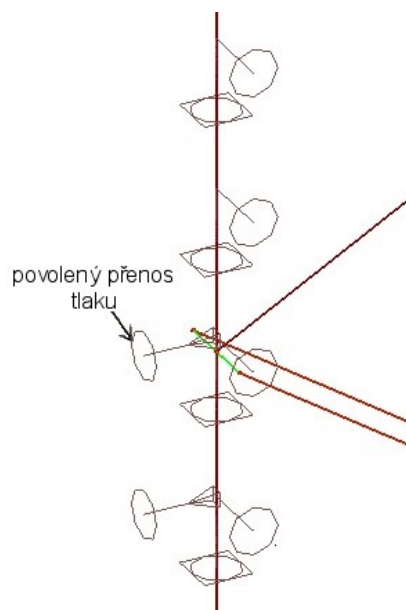
Při modelování tvaru konstrukce jsem se snažila, aby byl co největší podíl zatížení přenášen do ŽB věnce. V tomto místě je navržena kloubová podpora umožňující natočení ve všech směrech. Z této podpory vychází táhla a taky dřevěné prvky, které především do této podpory přenášejí zatížení vznikající nad rovinou ŽB věnce.

Dále bude zatížení přenášeno do zděné stěny pomocí hmoždinkami připevněnými svislými trámy. Na těch je zadána liniová podpora s možností přenosu smykových zatížení,



tzn. zatížení působících v rovině zděné stěny. Vždy 1 m od spodního okraje trámu je umožněn navíc i přenos tlaku.

Kotvení do ŽB věnce i do zdiva bude posouzeno v 11. kapitole této práce.



**Obrázek 5.7** Liniová podpora na svislém trámu

## 6 ZATĚŽOVÁNÍ MODELU NOSNÉ KONSTRUKCE

### 6.1 Stálé zatížení

Stálé zatížení bylo zadáno jako plošné zatížení do zatěžovacích panelů. Z těchto zatěžovacích panelů si Scia přepočte plošné zatížení do okrajů panelů a nosníků, které jsou pod nimi, vyjímaje ztužujících prvků. Tam je zatížení přepočteno jen do okrajů panelů. Takto rozpočtené zatížení je vidět na obr. 6.1. Hodnota stálého plošného zatížení je uvedena v tab.6.1.

	$g_k [kN/m^2]$
Překližka tl. 18mm, $\gamma=620kg/m^3$ ; $620*0,018=11,16kg/m^2$	0,11
Lezecké chyty – $5kg/m^2$	0,05
<b><math>\Sigma</math></b>	<b>0,16</b>

Tab. 6.1 Stálé plošné zatížení lezecké stěny

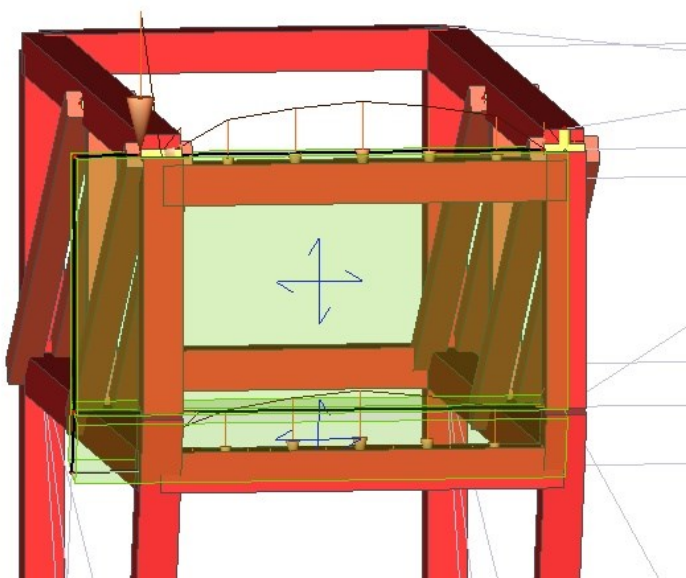
### 6.2 Proměnné zatížení

#### 6.2.1 Statický účinek lezce

Zatížení od lezce bylo zadáno stejně jako stálé zatížení, čili jako plošné zatížení na zatěžovacích panelech. Toto zatížení bylo zadáno jako krátkodobé.

	$g_k [kN/m^2]$
Lezec, $F=0,8$ kN, $b=1$ m, $h=1$ m	0,8
<b><math>\Sigma</math></b>	<b>0,8</b>

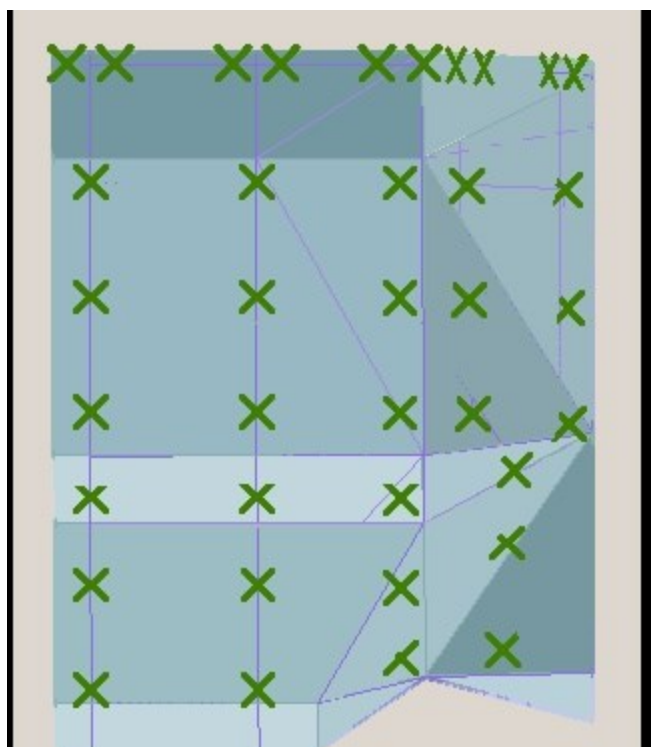
Tab. 6.2 Plošné zatížení lezcem



Obrázek 6.1 Rozpočítané plošné zatížení do okrajů panelu a nosníků

### 6.2.2 Dynamický účinek lezce

Bodová síla 6,6 kN způsobená spadnutím lezce byla zadána také jako krátkodobé zatížení. Její působíště je v každém osobním jisticím bodě, na obr. 6.2 to jsou zelené křížky.



Obrázek 6.2 Pohled na stěnu zepředu - osobní jisticí body

Protože může v jednu chvíli spadnout pouze jeden lezec na celé lezecké stěně a musí se použít nejnepríznivější úhel  $\pm 12,5^\circ$  od svislé osy, bylo zadáno v jednom osobním jisticím bodě tři bodových sil. Každá tato síla má svůj zatěžovací stav, který se nekombinuje s ostatními zatěžovacími stavy obsahující tuto sílu. Na lezecké stěně je navrženo celkem 32 osobních jisticích bodů. Takto by muselo být zadáno celkem 96 zatěžovacích stavů. Pro zjednodušení bylo vyselektováno těch sil, které se sklonem  $+12,5^\circ$  zasahovaly za rovinu překližky. Tím se počet zatěžovacích stavů padajícího lezce zredukoval na 85. V horních osobních jisticích bodech se síla roznáší do 2 bodů pomocí řetězu. Tyto body jsou od sebe vzdáleny 400 mm ve vodorovné ose.



Obrázek 6.3 horní osobní jisticí bod - řetěz

K síle padajícího lezce je připočteno i zatížení od lana, určené dle (4.1). Výsledné hodnoty a vzdálenost působíště od začátku prutu jsou uvedeny v tab. 6.1 až tab. 6.5.

<b>A,B</b>	$F_{lano,k}$ [kN]	$F_{pad.lez.,k}$ [kN]	$F_{celk}$	prut (A/B)	souř. na prutu- absolutní
lano v 1. jisticím bodě, $l=5,55m$	0,0038	6,6000	6,6038	B150/B149	114,1537
lano v 2. jisticím bodě, $l=7,35m$	0,0051	6,6000	6,6051	B150/B149	1064,1441
lano v 3. jisticím bodě, $l=9,01m$	0,0062	6,6000	6,6062	B6/B36	2181,8023
lano v 4. jisticím bodě, $l=10,63m$	0,0073	6,6000	6,6073	B5/B33	376,1994
lano v 5. jisticím bodě, $l=12,58m$	0,0087	6,6000	6,6087	B5/B33	1376,1994
lano v 6. jisticím bodě, $l=14,54m$	0,0100	6,6000	6,6100	B5/B33	2376,1994
lano v 7.,horním, jisticím bodě, $l=16,30m$	0,0114	6,6000	3,3114	vazba A - B5	200,0000
				vazba B - B57 a B58	±200,0000

Tab. 6.1 Hodnoty zatížení padajícího lezce s lanem a vzdálenost působíště od počátku prutu pro výstupovou cestu A a B

<b>C</b>	$F_{lano,k}$ [kN]	$F_{pad.lez.,k}$ [kN]	$F_{celk}$	prut	souř. na prutu- absolutní
lano v 1. jisticím bodě, $l=6,142m$	0,0042	6,6000	6,6042	B146	231,2351
lano v 2. jisticím bodě, $l=7,584m$	0,0052	6,6000	6,6052	B146	1134,1474
lano v 3. jisticím bodě, $l=9,551m$	0,0066	6,6000	6,6066	B141	455,664
lano v 4. jisticím bodě, $l=11,221m$	0,0077	6,6000	6,6077	B20	376,1994
lano v 5. jisticím bodě, $l=13,174m$	0,0091	6,6000	6,6091	B20	1376,1994
lano v 6. jisticím bodě, $l=15,126m$	0,0104	6,6000	6,6104	B20	2376,1994
lano v 7.,horním, jisticím bodě, $l=17,112m$	0,0118	6,6000	3,3118	B58	350,0000
				B59	50,0000

Tab. 6.2 Hodnoty zatížení padajícího lezce s lanem a vzdálenost působíště od počátku prutu pro výstupovou cestu C

<b>D</b>	$F_{lano,k}$ [kN]	$F_{pad.lez.,k}$ [kN]	$F_{celk}$	prut	souř. na prutu- absolutní
lano v 1. jisticím bodě, $l=6,282m$	0,0043	6,6000	6,6043	B124	231,2351
lano v 2. jisticím bodě, $l=8,100m$	0,0056	6,6000	6,6056	B175	741,6864
lano v 3. jisticím bodě, $l=9,699m$	0,0067	6,6000	3,3067	B153	274,2734

Tab. 6.3 Hodnoty zatížení padajícího lezce s lanem a vzdálenost působíště od počátku prutu pro výstupovou cestu D

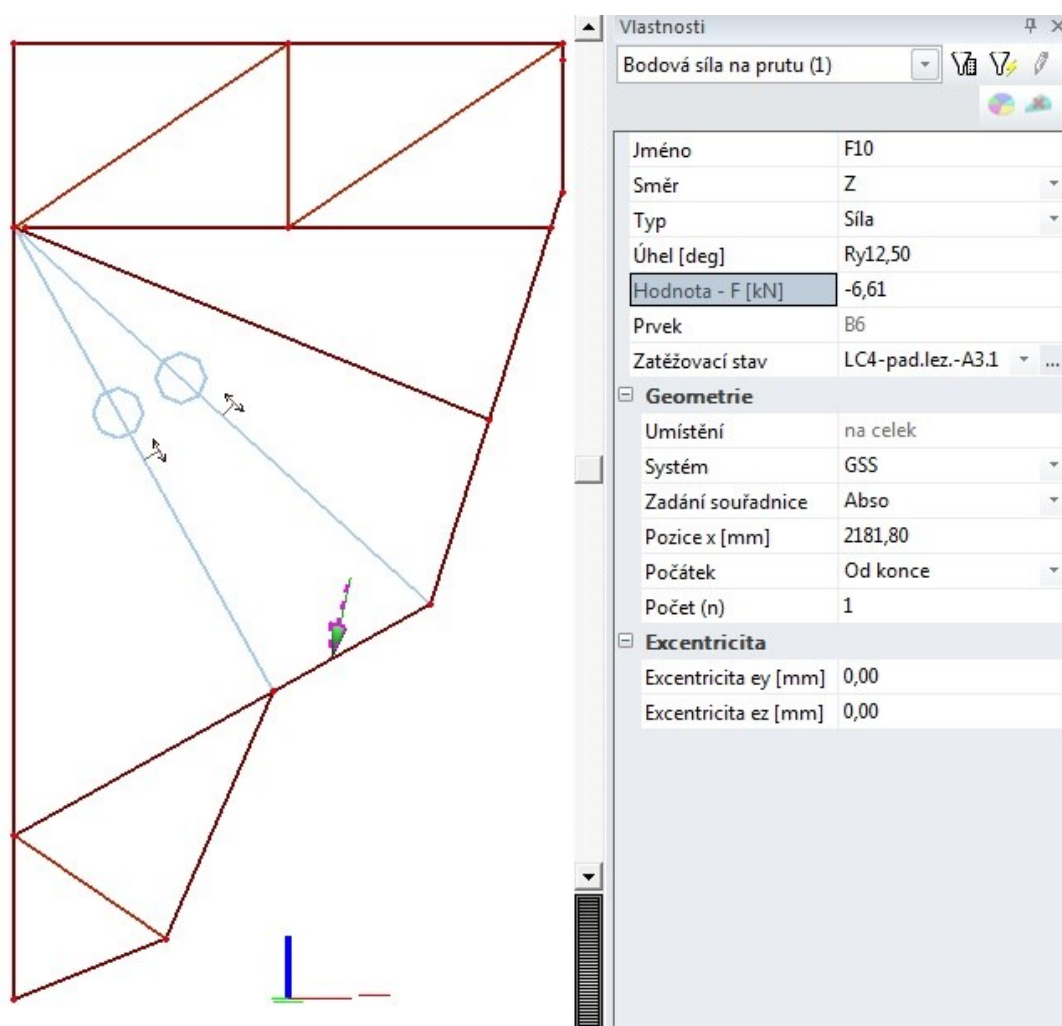
<b>D1</b>	$F_{lano,k}$ [kN]	$F_{pad.lez.,k}$ [kN]	$F_{celk}$	prut	souř. na prutu- absolutní
lano v 4. jisticím bodě, $l=11,108m$	0,0077	6,6000	6,6077	B196	624,58
lano v 5. jisticím bodě, $l=13,065m$	0,0092	6,6000	6,6092	B195	511,455
lano v 6. jisticím bodě, $l=14,991m$	0,0103	6,6000	6,6103	B75	293,69
lano v 7. jisticím bodě, $l=16,947m$	0,0117	6,6000	3,3117	B59	303,8179 a 703,8179

Tab. 6.4 Hodnoty zatížení padajícího lezce s lanem a vzdálenost působíště od počátku prutu pro výstupovou cestu D1

<b>D2</b>	$F_{lano,k}$ [kN]	$F_{pad.lez.,k}$ [kN]	$F_{celk}$	prut	souř. na prutu- absolutní
lano v 4. jisticím bodě, $l=11,062m$	0,0076	6,6000	6,6076	uzel N77	-
lano v 5. jisticím bodě, $l=12,681m$	0,0088	6,6000	6,6088	B76	619,1461
lano v 6. jisticím bodě, $l=14,657m$	0,0101	6,6000	6,6101	B76	1617,8336
lano v 7. jisticím bodě, $l=16,539m$	0,0110	6,6000	3,3110	B59	324,3759 a 724,3759*
* Vzdálenost je zadána od konce prutu.					

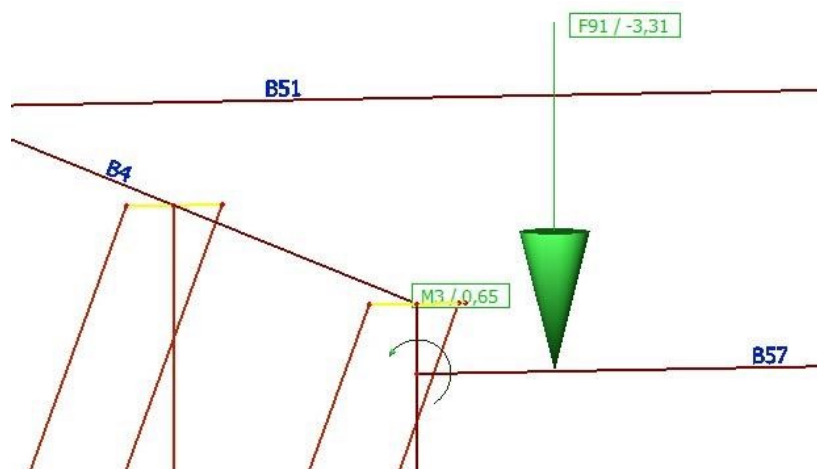
Tab. 6.5 Hodnoty zatížení padajícího lezce s lanem a vzdálenost působíště od počátku prutu pro výstupovou cestu D2

Na následujícím obrázku je ukázka zadávání zatížení od padajícího lezce s lanem. Konkrétně je to padající lezec ve 3. jisticím bodě výstupové cesty A. Dále jsou ukázky zatížení v horních jisticích bodech.

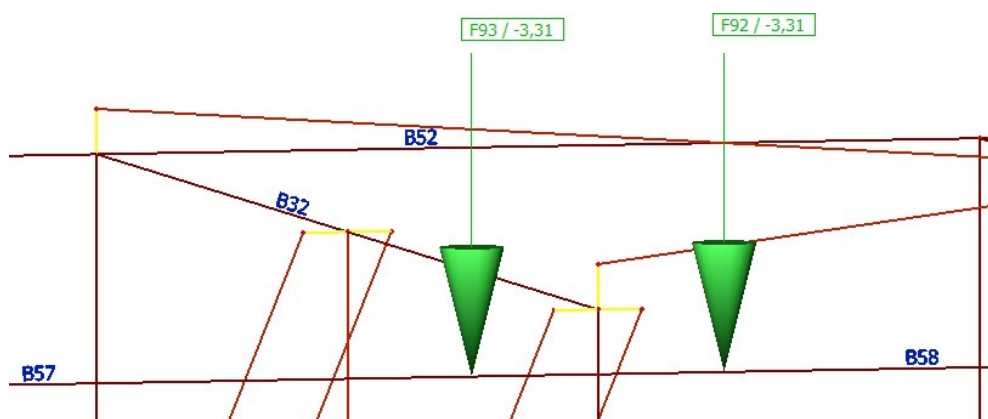


Obrázek 6.4 Zadávání zatížení od padajícího lezce s lanem - 3. jisticí bod vazby A, úhel odklonu od svislé osy +12,5°

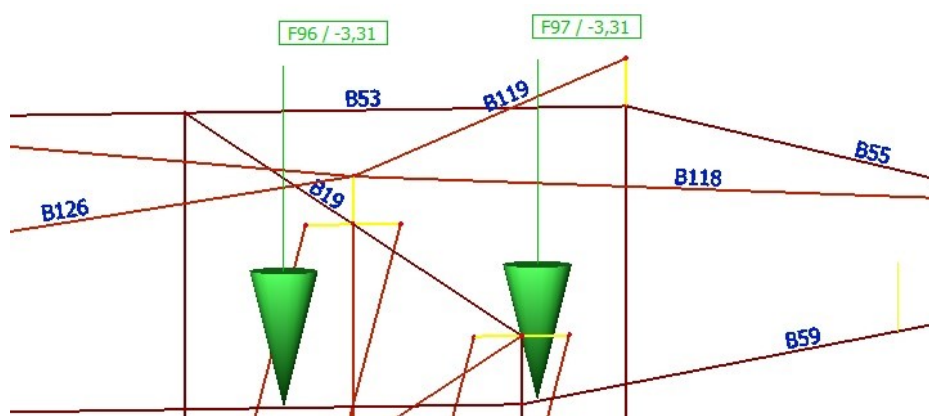
V horním jisticím bodě výstupové cesty A je zatížení zadáno bodovou silou s hodnotou 3,31 kN dle tab.6.1. Druhá složka této síly je zadána jako moment k uzlu N66 na rameni 0,2 m.



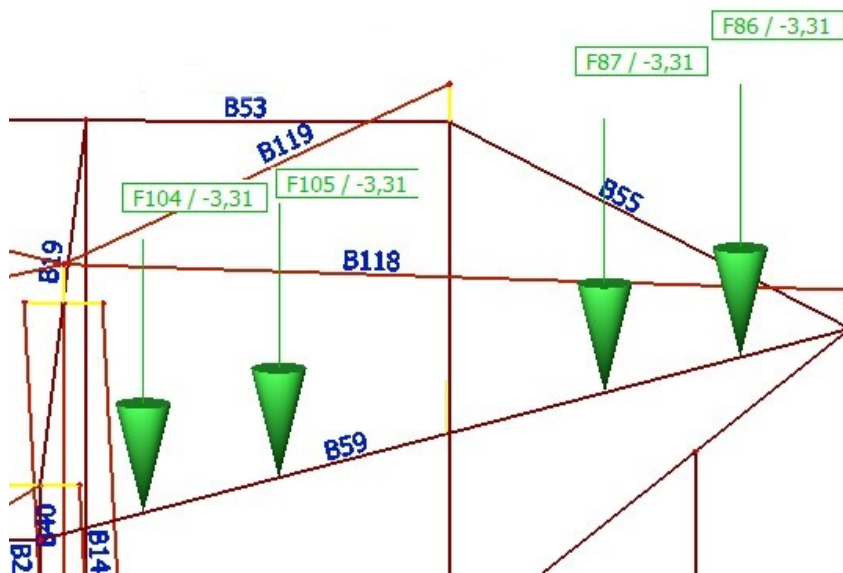
Obrázek 6.5 Zatížení v horním jisticím bodě výstupové cesty A



Obrázek 6.6 Zatížení v horním jisticím bodě výstupové cesty B



Obrázek 6.7 Zatížení v horním jisticím bodě výstupové cesty C



Obrázek 6.8 Zatížení v horním jisticím bodě výstupových cest D1 a D2



### 6.3 Kombinace zatížení

Pro výpočet hodnot mezního stavu únosnosti musí být použito kombinačního vztahu (7.6) s hodnotami dílčích součinitelů bezpečnosti daných v ČSN EN 12572-1 Bezpečnostní požadavky a zkušební metody pro ULS s jistícími body. Hodnoty dílčích součinitelů jsou uvedeny v tab. 7.1. Kombinační součinitel  $\psi$  musí mít hodnotu 0,8.

Kombinace byly vytvořeny pomocí výpočtového programu Scia Engineer. Výpis všech kombinací je přiložen k bakalářské práci. Kombinační skupiny byly sestaveny tak ať stálé zatížení působí vždy, v první kombinace samostatně, v dalších už společně s lezoucím a padajícím lezcem. Na následujícím obrázku je ukázka kombinační skupiny pro lezce, který spadne ve výstupové cestě A. V názvu zatěžovacího stavu LC4 pad.lez. je vyznačeno, ve které výstupové cestě lezec spadne, ve kterém jistícím bodě a pod jakým úhlem. Úhel je označen jako 1-pro  $+12,5^\circ$ , 2 pro  $0^\circ$  a 3 pro  $-12,5^\circ$ . Např. LC4-pad.lez.-A4.3 znamená, že lezec spadne ve výstupové cestě A, poslední jištění má ve 4. osobním jistícím bodě a zatížení, které svým pádem vyvolá, působí pod úhlem  $-12,5^\circ$ , tedy od roviny stěny.

Obsah kombinace	
LC1-vl.tíha [-]	1,00
LC2překližka+chyty [-]	1,00
LC3lezec všude [-]	1,00
LC4-pad.lez.-A1.1 [-]	1,00
LC4-pad.lez.-A1.2 [-]	1,00
LC4-pad.lez.-A1.3 [-]	1,00
LC4-pad.lez.-A2.1 [-]	1,00
LC4-pad.lez.-A2.2 [-]	1,00
LC4-pad.lez.-A2.3 [-]	1,00
LC4-pad.lez.-A3.1 [-]	1,00
LC4-pad.lez.-A3.2 [-]	1,00
LC4-pad.lez.-A3.3 [-]	1,00
LC4-pad.lez.-A4.1 [-]	1,00
LC4-pad.lez.-A4.2 [-]	1,00
LC4-pad.lez.-A4.3 [-]	1,00
LC4-pad.lez.-A5.1 [-]	1,00
LC4-pad.lez.-A5.2 [-]	1,00
LC4-pad.lez.-A5.3 [-]	1,00
LC4-pad.lez.-A6.1 [-]	1,00
LC4-pad.lez.-A6.2 [-]	1,00
LC4-pad.lez.-A6.3 [-]	1,00
LC4-pad.lez.-A7.2 [-]	1,00
LC4-pad.lez.-A7.3 [-]	1,00

Obrázek 6.9 Obsah kombinace pro lezce padajícího ve výstupové cestě A



## 7 POSUZOVÁNÍ DŘEVĚNÝCH PRVKŮ

Dřevo je anizotropní materiál, to znamená, že v každém směru má jiné vlastnosti. Základní posuzované směry jsou dány třemi řezy. Příčným řezem, kolmým na osu kmene, radiálním, rovnoběžným s osou kmene a tangenciálním, který vede rovnoběžně s osou mimo střed kmene. Při posuzování dřevěných prvků je nutné rozlišovat tyto vlastnosti, protože hodnoty pevností v těchto směrech jsou značně rozdílné. Pevnosti dřevěných prvků jsou mimo jiné závislé i na vlhkosti dřevěného prvku, neboli na prostředí ve kterém se prvek/konstrukce bude nacházet. Tento fakt se ve výpočtu pevnosti redukuje součinitelem  $k_{mod}$ , určeného dle tab. 7.1.

Materiál	Třída provozu	Třída trvání zatížení				
		Stálé zatížení	Dlouhodobé zatížení	Střednědobé zatížení	Krátkodobé zatížení	Okamžikové zatížení
Rostlé dřevo	1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
	2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
	3	0,50	0,55	0,65	0,70	0,90
Lepené lamelové dřevo	1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
	2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
	3	0,50	0,55	0,65	0,70	0,90

Obrázek 7.1 Hodnoty součinitele  $k_{mod}$

### 7.1 Mezní stav únosnosti

Kombinační vzorec:

$$\gamma_G G_k + \gamma_Q Q_{k,1} + \sum_{i>1} \psi \gamma_Q Q_{k,i} \quad (7.1)$$

Kde:  $G_k$  je charakteristická hodnota zatížení pro trvalé účinky;  
 $Q_k$  je charakteristická hodnota zatížení pro proměnné účinky;  
 $\gamma_G$  dílčí bezpečnostní součinitel pro trvalé účinky  
 $\gamma_Q$  dílčí bezpečnostní součinitel pro proměnné účinky  
 $\psi=0,8$  souhrnný součinitel pro proměnné účinky

Hodnoty dílčích bezpečnostních součinitelů se určí dle následující tabulky:

Dílčí součinitel	Hodnota [-]	Účinek zatížení
$\gamma_G$	1,00	příznivý
$\gamma_G$	1,35	nepříznivý
$\gamma_Q$	0,00	příznivý
$\gamma_Q$	1,50	nepříznivý

Tab. 7.1 Hodnoty dílčích bezpečnostních součinitelů [1]

Návrhové hodnoty pevností dřevěných prvků se určí dle:

$$f_d = k_{mod} \frac{f_k}{\gamma_M} \quad (7.2)$$

### 7.1.1 Tah rovnoběžně s vlákny

Návrhové napětí v tahu rovnoběžně s vlákny:

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{N_{Ed}}{A \cdot 10^{-3}} \quad (7.3)$$

Posouzení v tahu rovnoběžně s vlákny:

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} \leq 1,00 \quad (7.4)$$

Kde:  $f_{t,0,d}$  je návrhová pevnost prvku v tahu rovnoběžně s vlákny

### 7.1.2 Tlak rovnoběžně s vlákny

Návrhové napětí v tlaku rovnoběžně s vlákny:

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{Ed}}{A \cdot 10^{-3}} \quad (7.5)$$

Posouzení v tlaku rovnoběžně s vlákny:

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \leq 1,00 \quad (7.6)$$

Kde:  $f_{c,0,d}$  je návrhová pevnost prvku v tlaku rovnoběžně s vlákny

### 7.1.3 Vzpěrný tlak

Štíhlosti:

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} \quad (7.7)$$

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} \quad (7.8)$$

Kde:  $L_{cr,y}, L_{cr,z}$  jsou vzpěrné délky pro vybočení v rovině nebo z roviny prvku  
 $i_y, i_z$  jsou poloměry setrvačnosti k hlavním osám

*Poměrné štíhlosti:*

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} \quad (7.9)$$

$$\lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} \quad (7.10)$$

Kde:  $f_{c,0,k}$  je charakteristická hodnota pevnosti v tlaku rovnoběžně s vlákny  
 $E_{0,05}$  je hodnota 5 % kvantilu modulu pružnosti rovnoběžně s vlákny

*Součinitelé  $k_y, k_z$ :*

$$k_y = 0,5(1 + \beta_c(\lambda_{rel,y} - 0,3) + \lambda_{rel,y}^2) \quad (7.11)$$

$$k_z = 0,5(1 + \beta_c(\lambda_{rel,z} - 0,3) + \lambda_{rel,z}^2) \quad (7.12)$$

Kde:  $\beta_c = 0,2$  součinitel křivosti pro rostlé dřevo

*Součinitelé vzpěrnosti  $k_{c,y}, k_{c,z}$ :*

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} \quad (7.13)$$

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} \quad (7.14)$$

*Posouzení vzpěrného tlaku:*

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} f_{c,0,d}} \leq 1,00 \quad (7.15)$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} f_{c,0,d}} \leq 1,00 \quad (7.16)$$

### 7.1.4 Smyk

Návrhové napětí ve smyku:

$$\tau_d = \frac{3}{2} \frac{V_{Ed}}{A_{ef} \cdot 10^{-3}} \quad (7.17)$$

Kde:  $A_{ef} = b_{ef} \cdot h$  je efektivní plocha

$b_{ef} = b \cdot k_{cr}$  je efektivní šířka zohledňující vliv trhlin

$k_{cr} = 0,67$  je součinitel trhlin pro únosnost ve smyku, hodnota platí pro rostlé dřevo a lepené lamelové dřevo

Posouzení ve smyku:

$$\frac{\tau_d}{f_{v,d}} \leq 1,00 \quad (7.18)$$

Kde:  $f_{v,d}$  je návrhová pevnost ve smyku

### 7.1.5 Ohyb

Návrhové napětí v ohybu k hlavním osám:

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{Ed,y}}{W_y \cdot 10^{-6}} \quad (7.19)$$

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{M_{Ed,z}}{W_z \cdot 10^{-6}} \quad (7.20)$$

Posouzení jednoosého ohybu:

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} \leq 1,00 \quad (7.21)$$

$$\frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1,00 \quad (7.22)$$

Posouzení dvouosého ohybu:

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1,00 \quad (7.23)$$

$$k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1,00 \quad (7.24)$$

Kde:  $f_{m,y,d}$ ,  $f_{m,z,d}$  jsou návrhová pevnost v ohybu k hlavním osám

$k_m$  je součinitel zohledňující vliv redistribuce ohybových napětí v průřezu a vliv nehomogenit materiálu v průřezu

$k_m = 0,7$  pro obdélníkové průřezy

$k_m = 1,0$  pro ostatní průřezy

### 7.1.6 Kombinace ohybu a osového tahu

Návrhová napětí v ohybu k hlavním osám a v tahu rovnoběžně s vlákny se určí dle (7.3), (7.19), (7.20).

Posouzení v ohybu k hlavním osám v kombinaci s tahem:

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1,00 \quad (7.25)$$

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1,00 \quad (7.26)$$

Kde:  $k_m, f_{m,y,d}, f_{m,z,d}, f_{t,0,d}$  viz. odst. 7.1.1 a 7.1.5.

### 7.1.7 Kombinace ohybu a osového tlaku

Návrhová napětí v ohybu k hlavním osám a v tlaku rovnoběžně s vlákny se určí dle (7.5), (7.19), (7.20).

Posouzení v ohybu k hlavním osám v kombinaci s tlakem:

$$\left( \frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1,00 \quad (7.27)$$

$$\left( \frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1,00 \quad (7.28)$$

Kde:  $k_m, f_{m,y,d}, f_{m,z,d}, f_{t,0,d}$  viz. Odst. 7.1.2 a 7.1.5

### 7.1.8 Kombinace ohybu a vzpěrného tlaku

Tento posudek je nutný pro prvky, které jsou vystaveny buď tlaku, nebo kombinaci ohybu a tlaku.

Návrhová napětí v ohybu k hlavním osám a v tlaku rovnoběžně s vlákny se určí dle (7.5), (7.19), (7.20).

Posouzení v ohybu v kombinaci se vzpěrným tlakem:

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1,00 \quad (7.29)$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} f_{c,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1,00 \quad (7.30)$$

Kde:  $k_m, k_{c,y}, k_{c,z}, f_{m,y,d}, f_{m,z,d}, f_{t,0,d}$  viz. odst. 7.1.3 a 7.1.5

Protože jsou všechny dřevěné prvky navrženy ze čtvercového průřezu, můžeme zanedbat posouzení kroucení a klopení prvku. Dále také můžeme zanedbat tah nebo tlak kolmo k vláknům, protože prvky budou spojovány pomocí ocelových plechů a hřebíků či šroubů. Závisí tedy na pevnosti těchto spojovacích prostředků a na pevnosti dřeva v otlačení. Tyto posouzení nejsou řešením bakalářské práce.

## 8 Posouzení dřevěného prvku

V následující kapitole bude podrobně posouzen jeden vybraný dřevěný prvek. Posuzovaný prvek byl vybrán dle nejkritičtějšího posudku v programu Scia Engineer. Pro ukázkou budou posouzeny všechny druhy namáhání a jejich kombinací.

### 8.1 Návrhové pevnosti dřeva

Návrhové pevnosti dřeva dle (7.2):

Návrhové pevnosti v ohybu: 
$$f_{m,d} = \frac{24}{1,3} * 0,9 = 16,62 \text{ MPa}$$

Návrhová pevnost v tahu || s vlákny: 
$$f_{t,0,d} = \frac{14}{1,3} * 0,9 = 9,69 \text{ MPa}$$

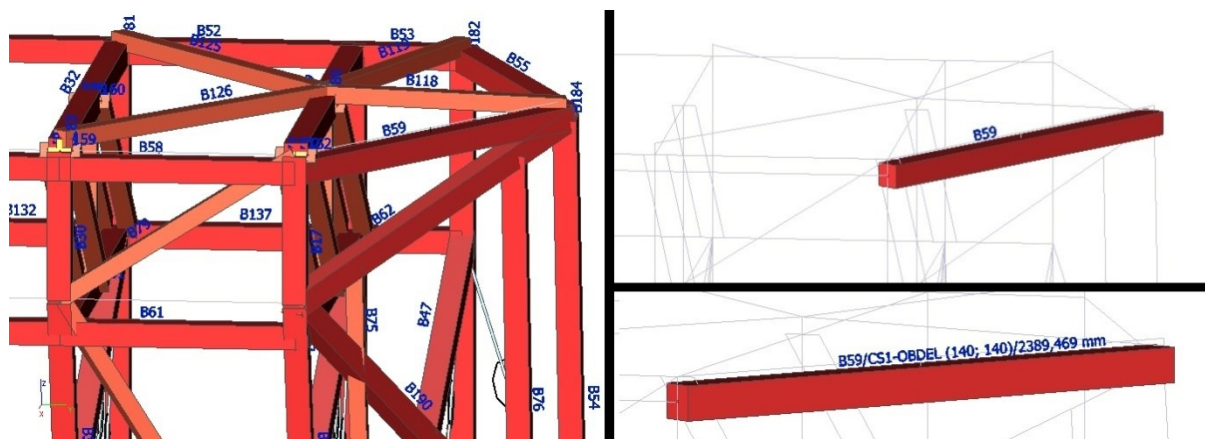
Návrhová pevnost v tahu  $\perp$  k vláknům: 
$$f_{t,90,d} = \frac{0,4}{1,3} * 0,9 = 0,28 \text{ MPa}$$

Návrhová pevnost v tlaku || s vlákny: 
$$f_{c,0,d} = \frac{21}{1,3} * 0,9 = 14,54 \text{ MPa}$$

Návrhová pevnost v tlaku  $\perp$  k vláknům: 
$$f_{c,90,d} = \frac{2,5}{1,3} * 0,9 = 1,73 \text{ MPa}$$

Návrhová pevnost ve smyku: 
$$f_{v,d} = \frac{4}{1,3} * 0,9 = 2,77 \text{ MPa}$$

### 8.2 Průřezové a materiálové charakteristiky prvku



Pro podrobný posudek byl vybrán prvek B59 s nejvyšší hodnotou posudku 0,59 pro kombinaci ohybu a vzpěrného tlaku. Tento prvek je navržen z rostlého dřeva třídy C24 o rozměrech 140x140mm. Jeho délka je  $l=2,389$  m. Do tohoto prvku jsou přikotveny horní osobní jistící body pro výstupovou cestu D1 a D2.

Plocha:

$$A = b * h = 140 * 140 = 19600 \text{ mm}^2$$

Průřezový modul:

$$W_y = \frac{1}{6} b h^2 = \frac{1}{6} * 140 * 140^2 = 457333,3 \text{ mm}^3$$

$$W_z = \frac{1}{6} h b^2 = \frac{1}{6} * 140 * 140^2 = 457333,3 \text{ mm}^3$$

Moment setrvačnosti:

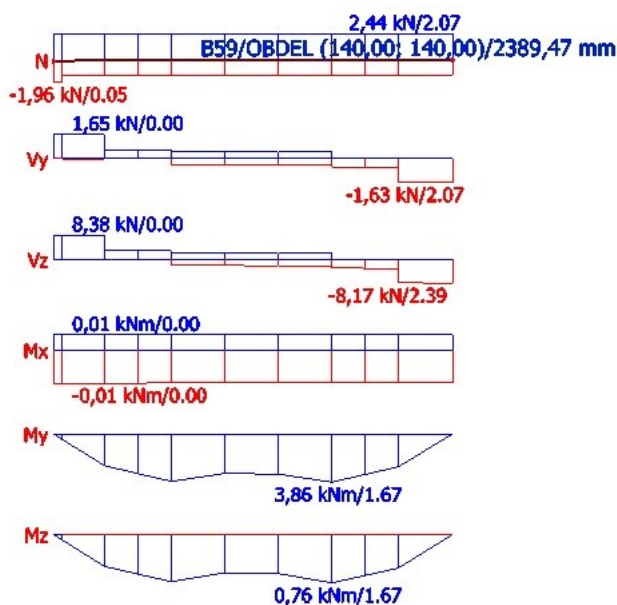
$$I_y = \frac{1}{12} b h^3 = \frac{1}{12} * 140 * 140^3 = 32 * 10^6 \text{ mm}^4$$

$$I_z = \frac{1}{12} h b^3 = \frac{1}{12} * 140 * 140^3 = 32 * 10^6 \text{ mm}^4$$

Poloměr setrvačnosti:

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{32 * 10^6}{19600}} = 40,4 \text{ mm}$$

### 8.3 Vnitřní síly



Obrázek 8.1 Vnitřní síly na prutu B59

Tahová síla:

$$N_{Ed} = 2,44 \text{ kN}$$

Tlaková síla:

$$N_{Ed} = -1,96 \text{ kN}$$

Posouvající síla ve směru osy y:

$$V_{Ed,y} = 1,65 \text{ kN}$$

Posouvající síla ve směru osy z:

$$V_{Ed,z} = 8,38 \text{ kN}$$

Ohybový moment ve směru osy x:

$$M_{Ed,x} = -0,01 \text{ kN}$$

Ohybový moment ve směru osy y:

$$M_{Ed,y} = 3,86 \text{ kN}$$

Ohybový moment ve směru osy z:

$$M_{Ed,z} = 0,76 \text{ kN}$$



Pro posouzení byly konzervativně použity maximální vnitřní síly na prvku, které vznikají v jiných řezech a při jiných kombinacích zatížení. Ve skutečnosti tento stav nikdy nenastane, ale pro snížení počtu posudků je toto zjednodušení možné. Zůstáváme tak na straně bezpečné.

#### 8.4 Tah rovnoběžně s vlákny

Návrhové napětí dle (7.3):

Návrhové napětí v tahu II s vlákny: 
$$\sigma_{t,0,d} = \frac{2,44 * 10^3}{19600} = 0,12 \text{ MPa}$$

Posouzení tahu II s vlákny:

Podmínka spolehlivosti dle (7.4): 
$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} \leq 1$$
  

$$\frac{0,12}{9,69} = 0,01 \leq 1$$

✓ VYHOVUJE

#### 8.5 Tlak rovnoběžně s vlákny

Návrhové napětí dle (7.5):

Návrhové napětí v tlaku II s vlákny: 
$$\sigma_{c,0,d} = \frac{1,67 * 10^3}{19600} = 0,10 \text{ MPa}$$

Posouzení tahu II s vlákny:

Podmínka spolehlivosti dle (7.6): 
$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \leq 1$$
  

$$\frac{0,10}{14,54} = 0,01 \leq 1$$

✓ VYHOVUJE

#### 8.6 Smyk

Návrhové napětí dle (7.17):

Návrhové napětí ve smyku k ose y: 
$$\tau_{v,y,d} = \frac{3}{2} \frac{1,65 * 10^3}{0,67 * 140 * 140} = 0,19 \text{ MPa}$$

Návrhové napětí ve smyku k ose z: 
$$\tau_{v,z,d} = \frac{3}{2} \frac{8,38 * 10^3}{0,67 * 140 * 140} = 0,96 \text{ MPa}$$

Posouzení smyku dle (7.18):

Podmínka spolehlivosti k ose y:

$$\frac{\tau_{v,y,d}}{f_{v,d}} \leq 1$$

$$\frac{0,19}{2,77} = 0,07 \leq 1$$

Podmínka spolehlivosti k ose z:

$$\frac{\tau_{v,z,d}}{f_{v,d}} \leq 1$$

$$\frac{0,96}{2,77} = 0,35 \leq 1$$

✓ VYHOVUJE

## 8.7 Ohyb

Návrhové napětí dle (7.19) a (7.20):

Návrhové napětí v ohybu k ose y:  $\sigma_{m,y,d} = \frac{3,86 * 10^6}{457333,33} = 8,44 \text{ MPa}$

Návrhové napětí v ohybu k ose z:  $\sigma_{m,z,d} = \frac{0,76 * 10^6}{457333,33} = 1,66 \text{ MPa}$

Posouzení dvouosého ohybu:

Podmínka spolehlivosti dle (7.23):

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1,0$$
$$\frac{8,44}{16,62} + 0,7 \frac{1,66}{16,62} \leq 1,0$$
$$0,58 \leq 1,0$$

✓ VYHOVUJE

Podmínka spolehlivosti dle (7.24):

$$k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1,0$$
$$0,7 \frac{8,44}{16,62} + \frac{1,66}{16,62} \leq 1,0$$
$$0,46 \leq 1,0$$

✓ VYHOVUJE

## 8.8 Kombinace ohybu a osového tahu

Posouzení kombinace ohybu a osového tahu:

Podmínka spolehlivosti dle (7.25):

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$
$$\frac{0,12}{9,69} + \frac{8,44}{16,62} + 0,7 \frac{1,66}{16,62} \leq 1$$
$$0,59 \leq 1$$

✓ VYHOVUJE

Podmínka spolehlivosti dle (7.26):

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$
$$\frac{0,12}{9,69} + 0,7 \frac{8,44}{16,62} + \frac{1,66}{16,62} \leq 1$$
$$0,47 \leq 1$$

✓ VYHOVUJE

## 8.9 Kombinace ohybu a osového tlaku

Posouzení kombinace ohybu a osového tlaku:

Podmínka spolehlivosti dle (7.27):

$$\left( \frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$
$$\left( \frac{0,10}{14,54} \right)^2 + \frac{8,44}{16,62} + 0,7 \frac{1,66}{16,62} \leq 1$$
$$0,58 \leq 1$$

✓ VYHOVUJE

Podmínka spolehlivosti dle (7.28):

$$\left( \frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$
$$\left( \frac{0,10}{14,54} \right)^2 + 0,7 \frac{8,44}{16,62} + \frac{1,66}{16,62} \leq 1$$
$$0,46 \leq 1$$

✓ VYHOVUJE

## 8.10 Kombinace ohybu a vzpěrného tlaku

Tomuto prvku brání ve vybočení v rovině překližka, která je k němu připevněná hřebíky nebo vruty v malých rozestupech. Bude tedy posouzen pouze na vybočení z roviny, tedy vybočení kolmo k rovině z.

Štíhlost prvku dle (7.8):

$$\lambda_z = \frac{2389,47}{40,41} = 59,12$$

Poměrná štíhlost prvku dle (7.10):  $\lambda_{rel,z} = \frac{59,12}{\pi} \sqrt{\frac{21,00}{7400,00}} = 1,00$

Součinitel  $k_z$  dle (7.12):  $k_z = 0,50(1,00 + 0,20(1,00 - 0,03) + 1,00^2) = 1,07$

Součinitel vzpěrnosti  $k_{c,z}$  dle (7.14):  $k_{c,z} = \frac{1}{1,07 + \sqrt{1,07^2 - 1,00^2}} = 0,69$

Podmínka spolehlivosti dle (7.27.):  $\frac{0,09}{0,69 * 14,54} + \frac{8,44}{16,62} + 0,7 \frac{1,66}{16,62} \leq 1$   
 $0,46 < 1$

✓ VYHOVUJE

Posuzovaný prvek B59 o rozměrech průřezu 140x140mm vyhovuje všem podmínkám a je využit na 58 %.

## 9 POSOUZENÍ OSTATNÍCH DŘEVĚNÝCH PRVKŮ

V následující kapitole budou stručně posouzeny dřevěné prvky s posudkem větším jak 0,3, analogicky dle kap. 8. Délky jednotlivých prvků, jejich hodnoty vnitřních sil a posudky, včetně výsledů mezivýpočtů jsou uvedeny v příloze 1 a 2, kde jsou tyto prvky označeny šedou barvou.

### 9.1 Prvek B5

#### ***Posudek vzpěrného tlaku:***

Návrhové napětí dle (7.5):

Návrhové napětí v tlaku ll s vlákný:  $\sigma_{c,0,d} = 0,74 \text{ MPa}$

Posouzení tahu ll s vlákný:

Podmínka spolehlivosti dle (7.15):  $\frac{0,74}{0,63 * 14,54} = 0,08 \leq 1$

✓ VYHOVUJE

Podmínka spolehlivosti dle (7.16):  $\frac{0,74}{0,95 * 14,54} = 0,05 \leq 1$

✓ VYHOVUJE

#### ***Posudek smyku:***

Návrhové napětí dle (7.17):

Návrhové napětí ve smyku k ose y:  $\tau_{v,y,d} = 0,14 \text{ MPa}$

Návrhové napětí ve smyku k ose z:  $\tau_{v,z,d} = 0,60 \text{ MPa}$

Posouzení smyku dle (7.18):

Podmínka spolehlivosti k ose y:  $\frac{0,14}{2,77} = 0,05 \leq 1$

Podmínka spolehlivosti k ose z:  $\frac{0,60}{2,77} = 0,22 \leq 1$

✓ VYHOVUJE

#### ***Posudek ohybu:***

Návrhové napětí dle (7.19) a (7.20);

Návrhové napětí v ohybu k ose y:  $\sigma_{m,y,d} = 3,67 \text{ MPa}$

Návrhové napětí v ohybu k ose z:  $\sigma_{m,z,d} = 0,55 \text{ MPa}$

Posouzení jednoosého ohybu:

Podmínka spolehlivosti dle (7.21):  $\frac{3,67}{16,62} = 0,22 \leq 1$

✓ VYHOVUJE

Podmínka spolehlivosti dle (7.22):  $\frac{0,55}{16,62} = 0,03 \leq 1$

✓ VYHOVUJE

Posouzení dvouosého ohybu:

Podmínka spolehlivosti dle (7.23):  $\frac{3,67}{16,62} + 0,7 \frac{0,55}{16,62} = 0,24 \leq 1,00$

✓ VYHOVUJE

Podmínka spolehlivosti dle (7.24):  $0,7 \frac{3,67}{16,62} + \frac{0,55}{16,62} = 0,19 \leq 1,00$

✓ VYHOVUJE

#### ***Kombinace ohybu a vzpěrného tlaku:***

Posouzení kombinace ohybu a osového tlaku:

Podmínka spolehlivosti dle (7.29):  $\frac{0,74}{0,44 * 14,54} + \frac{3,67}{16,62} + 0,7 \frac{0,55}{16,62} \leq 1,00$   
 $0,33 < 1,00$

✓ VYHOVUJE

Podmínka spolehlivosti dle (7.30):  $\frac{0,74}{0,44 * 14,54} + 0,7 \frac{3,67}{16,62} + \frac{0,55}{16,62} \leq 1,00$   
 $0,24 < 1,00$

✓ VYHOVUJE

Posuzovaný prvek B5 o rozměrech průřezu 140x140mm vyhovuje všem podmínkám a je využit na 33 %.

## **9.2 Prvek B6**

#### ***Posudek osového tahu:***

Návrhové napětí v tahu II s vlákny  
dle (7.3):

$$\sigma_{t,0,d} = 0,17 \text{ MPa}$$

Posouzení tahu II s vlákny:

Podmínka spolehlivosti dle (7.4):  $\frac{0,17}{9,69} = 0,02 \leq 1,00$

✓ VYHOVUJE

***Posudek vzpěrného tlaku:***

Návrhové napětí v tlaku II s vlákny  
dle (7.5):

$$\sigma_{c,0,d} = 0,78 \text{ MPa}$$

Posouzení vzpěrného tlaku II s vlákny:

Podmínka spolehlivosti dle (7.15):  $\frac{0,78}{0,86 * 14,54} = 0,06 \leq 1,00$

✓ VYHOVUJE

Podmínka spolehlivosti dle (7.16):  $\frac{0,78}{0,86 * 14,54} = 0,06 \leq 1,00$

✓ VYHOVUJE

***Posudek smyku:***

Návrhové napětí dle (7.17):

Návrhové napětí ve smyku k ose y:  $\tau_{v,y,d} = 0,03 \text{ MPa}$

Návrhové napětí ve smyku k ose z:  $\tau_{v,z,d} = 0,91 \text{ MPa}$

Posouzení smyku dle (7.18):

Podmínka spolehlivosti k ose y:  $\frac{0,03}{2,77} = 0,01 \leq 1$

Podmínka spolehlivosti k ose z:  $\frac{0,91}{2,77} = 0,33 \leq 1$

✓ VYHOVUJE

***Posudek ohybu:***

Návrhové napětí dle (7.19) a (7.20);

Návrhové napětí v ohybu k ose y:  $\sigma_{m,y,d} = 3,67 \text{ MPa}$

Návrhové napětí v ohybu k ose z:  $\sigma_{m,z,d} = 0,59 \text{ MPa}$

Posouzení jednoosého ohybu:

Podmínka spolehlivosti dle (7.21):  $\frac{3,67}{16,62} = 0,22 \leq 1$

✓ VYHOVUJE

Podmínka spolehlivosti dle (7.22):  $\frac{0,55}{16,62} = 0,03 \leq 1$

✓ VYHOVUJE

Posouzení dvouosého ohybu:

Podmínka spolehlivosti dle (7.23):  $\frac{3,67}{16,62} + 0,7 \frac{0,55}{16,62} = 0,24 \leq 1,00$

✓ VYHOVUJE

Podmínka spolehlivosti dle (7.24):  $0,7 \frac{3,67}{16,62} + \frac{0,55}{16,62} = 0,19 \leq 1,00$

✓ VYHOVUJE

***Kombinace ohybu a osového tahu:***

Posouzení kombinace ohybu a osového tlaku:

Podmínka spolehlivosti dle (7.25):  $\frac{0,17}{9,69} + \frac{3,67}{16,62} + 0,7 \frac{0,55}{16,62} = 0,24 \leq 1$

✓ VYHOVUJE

Podmínka spolehlivosti dle (7.26):  $\frac{0,17}{9,69} + 0,7 \frac{3,67}{16,62} + \frac{0,55}{16,62} = 0,19 \leq 1$

✓ VYHOVUJE

***Kombinace ohybu a vzpěrného tlaku:***

Posouzení kombinace ohybu a osového tlaku:

Podmínka spolehlivosti dle (7.29):  $\frac{0,78}{0,86 * 9,69} + \frac{3,67}{16,62} + 0,7 \frac{0,55}{16,62} = 0,31 \leq 1$

✓ VYHOVUJE

Podmínka spolehlivosti dle (7.30):  $\frac{0,78}{0,86 * 9,69} + 0,7 \frac{3,67}{16,62} + \frac{0,55}{16,62} = 0,25 \leq 1$

✓ VYHOVUJE

Posuzovaný prvek B6 o rozměrech průřezu 140x140mm vyhovuje všem podmínkám a je využit na 33 %.



### 9.3 Prvek B33

#### ***Posudek osového tahu:***

Návrhové napětí v tahu II s vlákny  
dle (7.3):

$$\sigma_{t,0,d} = 0,19 \text{ MPa}$$

Posouzení tahu II s vlákny:

Podmínka spolehlivosti dle (7.4):

$$\frac{0,19}{9,69} = 0,02 \leq 1,00$$

✓ VYHOVUJE

#### ***Posudek vzpěrného tlaku:***

Návrhové napětí v tlaku II s vlákny  
dle (7.5):

$$\sigma_{c,0,d} = 0,59 \text{ MPa}$$

Posouzení vzpěrného tlaku:

Podmínka spolehlivosti dle (7.15):

$$\frac{0,59}{0,63 * 14,54} = 0,06 \leq 1,00$$

✓ VYHOVUJE

Podmínka spolehlivosti dle (7.16):

$$\frac{0,59}{0,95 * 14,54} = 0,04 \leq 1,00$$

✓ VYHOVUJE

#### ***Posudek smyku:***

Návrhové napětí dle (7.17):

Návrhové napětí ve smyku k ose y:

$$\tau_{v,y,d} = 0,26 \text{ MPa}$$

Návrhové napětí ve smyku k ose z:

$$\tau_{v,z,d} = 0,59 \text{ MPa}$$

Posouzení smyku dle (7.18):

Podmínka spolehlivosti k ose y:

$$\frac{0,26}{2,77} = 0,09 \leq 1$$

Podmínka spolehlivosti k ose z:

$$\frac{0,59}{2,77} = 0,21 \leq 1$$

✓ VYHOVUJE

#### ***Posudek ohybu:***

Návrhové napětí dle (7.19) a (7.20):

Návrhové napětí v ohybu k ose y:

$$\sigma_{m,y,d} = 3,43 \text{ MPa}$$

Návrhové napětí v ohybu k ose z:  $\sigma_{m,z,d} = 0,72 \text{ MPa}$

Posouzení jednoosého ohybu:

Podmínka spolehlivosti dle (7.21):  $\frac{3,43}{16,62} = 0,21 \leq 1$

✓ VYHOVUJE

Podmínka spolehlivosti dle (7.22):  $\frac{0,72}{16,62} = 0,04 \leq 1$

✓ VYHOVUJE

Posouzení dvouosého ohybu:

Podmínka spolehlivosti dle (7.23):  $\frac{3,43}{16,62} + 0,7 \frac{0,72}{16,62} = 0,24 \leq 1,00$

✓ VYHOVUJE

Podmínka spolehlivosti dle (7.24):  $0,7 \frac{3,43}{16,62} + \frac{0,72}{16,62} = 0,19 \leq 1,00$

✓ VYHOVUJE

***Kombinace ohybu a osového tahu:***

Posouzení kombinace ohybu a osového tlaku:

Podmínka spolehlivosti dle (7.25):  $\frac{0,19}{9,69} + \frac{3,43}{16,62} + 0,7 \frac{0,72}{16,62} = 0,24 \leq 1$

✓ VYHOVUJE

Podmínka spolehlivosti dle (7.26):  $\frac{0,19}{9,69} + 0,7 \frac{3,43}{16,62} + \frac{0,72}{16,62} = 0,19 \leq 1$

✓ VYHOVUJE

***Kombinace ohybu a vzpěrného tlaku:***

Posouzení kombinace ohybu a osového tlaku:

Podmínka spolehlivosti dle (7.29):  $\frac{0,59}{0,63 * 9,69} + \frac{3,43}{16,62} + 0,7 \frac{0,72}{16,62} = 0,30 \leq 1$

✓ VYHOVUJE

Podmínka spolehlivosti dle (7.30):  $\frac{0,59}{0,95 * 9,69} + 0,7 \frac{3,43}{16,62} + \frac{0,72}{16,62} = 0,23 \leq 1$

✓ VYHOVUJE

Posuzovaný prvek B33 o rozměrech průřezu 140x140mm vyhovuje všem podmínkám a je využit na 30 %.

## 9.4 Prvek B34

### ***Posudek osového tahu:***

Návrhové napětí v tahu II s vlákny  
dle (7.3):

$$\sigma_{t,0,d} = 0,23 \text{ MPa}$$

Posouzení tahu II s vlákny:

Podmínka spolehlivosti dle (7.4):

$$\frac{0,23}{9,69} = 0,02 \leq 1,00$$

✓ VYHOVUJE

### ***Posudek vzpěrného tlaku:***

Návrhové napětí v tlaku II s vlákny  
dle (7.5):

$$\sigma_{c,0,d} = 0,66 \text{ MPa}$$

Posouzení vzpěrného tlaku:

Podmínka spolehlivosti dle (7.15):

$$\frac{0,66}{0,86 * 14,54} = 0,05 \leq 1,00$$

✓ VYHOVUJE

Podmínka spolehlivosti dle (7.16):

$$\frac{0,66}{0,86 * 14,54} = 0,05 \leq 1,00$$

✓ VYHOVUJE

### ***Posudek smyku:***

Návrhové napětí dle (7.17):

Návrhové napětí ve smyku k ose y:

$$\tau_{v,y,d} = 0,03 \text{ MPa}$$

Návrhové napětí ve smyku k ose z:

$$\tau_{v,z,d} = 0,92 \text{ MPa}$$

Posouzení smyku dle (7.18):

Podmínka spolehlivosti k ose y:

$$\frac{0,03}{2,77} = 0,01 \leq 1$$

Podmínka spolehlivosti k ose z:

$$\frac{0,92}{2,77} = 0,33 \leq 1$$

✓ VYHOVUJE

### ***Posudek ohybu:***

Návrhové napětí dle (7.19) a (7.20):

Návrhové napětí v ohybu k ose y:

$$\sigma_{m,y,d} = 3,63 \text{ MPa}$$

Návrhové napětí v ohybu k ose z:  $\sigma_{m,z,d} = 0,61 \text{ MPa}$

Posouzení jednoosého ohybu:

Podmínka spolehlivosti dle (7.21):  $\frac{3,63}{16,62} = 0,22 \leq 1$

✓ VYHOVUJE

Podmínka spolehlivosti dle (7.22):  $\frac{0,61}{16,62} = 0,04 \leq 1$

✓ VYHOVUJE

Posouzení dvouosého ohybu:

Podmínka spolehlivosti dle (7.23):  $\frac{3,63}{16,62} + 0,7 \frac{0,61}{16,62} = 0,24 \leq 1,00$

✓ VYHOVUJE

Podmínka spolehlivosti dle (7.24):  $0,7 \frac{3,43}{16,62} + \frac{0,61}{16,62} = 0,19 \leq 1,00$

✓ VYHOVUJE

#### ***Kombinace ohybu a osového tahu:***

Posouzení kombinace ohybu a osového tahu:

Podmínka spolehlivosti dle (7.25):  $\frac{0,23}{9,69} + \frac{3,63}{16,62} + 0,7 \frac{0,61}{16,62} = 0,24 \leq 1$

✓ VYHOVUJE

Podmínka spolehlivosti dle (7.26):  $\frac{0,23}{9,69} + 0,7 \frac{3,63}{16,62} + \frac{0,61}{16,62} = 0,19 \leq 1$

✓ VYHOVUJE

#### ***Kombinace ohybu a vzpěrného tlaku:***

Posouzení kombinace ohybu a osového tlaku:

Podmínka spolehlivosti dle (7.29):  $\frac{0,66}{0,86 * 9,69} + \frac{3,63}{16,62} + 0,7 \frac{0,61}{16,62} = 0,30 \leq 1$

✓ VYHOVUJE

Podmínka spolehlivosti dle (7.30):  $\frac{0,66}{0,86 * 9,69} + 0,7 \frac{3,63}{16,62} + \frac{0,61}{16,62} = 0,24 \leq 1$

✓ VYHOVUJE

Posuzovaný prvek B33 o rozměrech průřezu 140x140mm vyhovuje všem podmínkám a je využit na 33 %.

## 9.5 Prvek B71

### ***Posudek osového tahu:***

Návrhové napětí v tahu II s vlákny  
dle (7.3):

$$\sigma_{t,0,d} = 0,07 \text{ MPa}$$

Posouzení tahu II s vlákny:

Podmínka spolehlivosti dle (7.4):

$$\frac{0,07}{9,69} = 0,01 \leq 1,00$$

✓ VYHOVUJE

### ***Posudek vzpěrného tlaku:***

Návrhové napětí v tlaku II s vlákny  
dle (7.5):

$$\sigma_{c,0,d} = 0,59 \text{ MPa}$$

Posouzení vzpěrného tlaku:

Podmínka spolehlivosti dle (7.15):

$$\frac{0,59}{0,79 * 14,54} = 0,03 \leq 1,00$$

✓ VYHOVUJE

Podmínka spolehlivosti dle (7.16):

$$\frac{0,59}{0,79 * 14,54} = 0,03 \leq 1,00$$

✓ VYHOVUJE

### ***Posudek smyku:***

Návrhové napětí dle (7.17):

Návrhové napětí ve smyku k ose y:

$$\tau_{v,y,d} = 0,34 \text{ MPa}$$

Návrhové napětí ve smyku k ose z:

$$\tau_{v,z,d} = 0,13 \text{ MPa}$$

Posouzení smyku dle (7.18):

Podmínka spolehlivosti k ose y:

$$\frac{0,34}{2,77} = 0,12 \leq 1$$

Podmínka spolehlivosti k ose z:

$$\frac{0,13}{2,77} = 0,05 \leq 1$$

✓ VYHOVUJE

### ***Posudek ohybu:***

Návrhové napětí dle (7.19) a (7.20);

Návrhové napětí v ohybu k ose y:

$$\sigma_{m,y,d} = 0,54 \text{ MPa}$$

Návrhové napětí v ohybu k ose z:  $\sigma_{m,z,d} = 6,24 \text{ MPa}$

Posouzení jednoosého ohybu:

Podmínka spolehlivosti dle (7.21):  $\frac{0,54}{16,62} = 0,03 \leq 1$

✓ VYHOVUJE

Podmínka spolehlivosti dle (7.22):  $\frac{6,24}{16,62} = 0,38 \leq 1$

✓ VYHOVUJE

Posouzení dvouosého ohybu:

Podmínka spolehlivosti dle (7.23):  $\frac{0,54}{16,62} + 0,7 \frac{6,24}{16,62} = 0,30 \leq 1,00$

✓ VYHOVUJE

Podmínka spolehlivosti dle (7.24):  $0,7 \frac{0,54}{16,62} + \frac{6,24}{16,62} = 0,40 \leq 1,00$

✓ VYHOVUJE

***Kombinace ohybu a osového tahu:***

Posouzení kombinace ohybu a osového tahu:

Podmínka spolehlivosti dle (7.25):  $\frac{0,07}{9,69} + \frac{0,54}{16,62} + 0,7 \frac{6,24}{16,62} = 0,30 \leq 1$

✓ VYHOVUJE

Podmínka spolehlivosti dle (7.26):  $\frac{0,07}{9,69} + 0,7 \frac{0,54}{16,62} + \frac{6,24}{16,62} = 0,40 \leq 1$

✓ VYHOVUJE

***Kombinace ohybu a vzpěrného tlaku:***

Posouzení kombinace ohybu a osového tlaku:

Podmínka spolehlivosti dle (7.29):  $\frac{0,03}{0,79 * 9,69} + \frac{0,54}{16,62} + 0,7 \frac{6,24}{16,62} = 0,30 \leq 1$

✓ VYHOVUJE

Podmínka spolehlivosti dle (7.30):  $\frac{0,03}{0,79 * 9,69} + 0,7 \frac{0,54}{16,62} + \frac{6,24}{16,62} = 0,40 \leq 1$

✓ VYHOVUJE

Posuzovaný prvek B71 o rozměrech průřezu 100x100mm vyhovuje všem podmínkám a je využit na 40 %.

## 9.6 Prvek B75

### ***Posudek osového tahu:***

Návrhové napětí v tahu II s vlákny  
dle (7.3):

$$\sigma_{t,0,d} = 0,24 \text{ MPa}$$

Posouzení tahu II s vlákny:

Podmínka spolehlivosti dle (7.4):

$$\frac{0,24}{9,69} = 0,02 \leq 1,00$$

✓ VYHOVUJE

### ***Posudek vzpěrného tlaku:***

Návrhové napětí v tlaku II s vlákny  
(7.5):

$$\sigma_{c,0,d} = 0,85 \text{ MPa}$$

Posouzení vzpěrného tlaku:

Podmínka spolehlivosti dle (7.15):

$$\frac{0,85}{0,98 * 14,54} = 0,06 \leq 1,00$$

✓ VYHOVUJE

Podmínka spolehlivosti dle (7.16):

$$\frac{0,85}{0,98 * 14,54} = 0,06 \leq 1,00$$

✓ VYHOVUJE

### ***Posudek smyku:***

Návrhové napětí dle (7.17):

Návrhové napětí ve smyku k ose y:

$$\tau_{v,y,d} = 0,21 \text{ MPa}$$

Návrhové napětí ve smyku k ose z:

$$\tau_{v,z,d} = 0,36 \text{ MPa}$$

Posouzení smyku dle (7.18):

Podmínka spolehlivosti k ose y:

$$\frac{0,21}{2,77} = 0,08 \leq 1$$

Podmínka spolehlivosti k ose z:

$$\frac{0,36}{2,77} = 0,13 \leq 1$$

✓ VYHOVUJE

### ***Posudek ohybu:***

Návrhové napětí dle (7.19) a (7.20):

Návrhové napětí v ohybu k ose y:

$$\sigma_{m,y,d} = 2,82 \text{ MPa}$$

Návrhové napětí v ohybu k ose z:  $\sigma_{m,z,d} = 1,68 \text{ MPa}$

Posouzení jednoosého ohybu:

Podmínka spolehlivosti dle (7.21):  $\frac{2,82}{16,62} = 0,17 \leq 1$

✓ VYHOVUJE

Podmínka spolehlivosti dle (7.22):  $\frac{1,68}{16,62} = 0,10 \leq 1$

✓ VYHOVUJE

Posouzení dvouosého ohybu:

Podmínka spolehlivosti dle (7.23):  $\frac{2,82}{16,62} + 0,7 \frac{1,68}{16,62} = 0,24 \leq 1,00$

✓ VYHOVUJE

Podmínka spolehlivosti dle (7.24):  $0,7 \frac{2,82}{16,62} + \frac{1,68}{16,62} = 0,22 \leq 1,00$

✓ VYHOVUJE

***Kombinace ohybu a osového tahu:***

Posouzení kombinace ohybu a osového tlaku:

Podmínka spolehlivosti dle (7.25):  $\frac{0,24}{9,69} + \frac{2,82}{16,62} + 0,7 \frac{1,68}{16,62} = 0,24 \leq 1$

✓ VYHOVUJE

Podmínka spolehlivosti dle (7.26):  $\frac{0,24}{9,69} + 0,7 \frac{2,82}{16,62} + \frac{1,68}{16,62} = 0,22 \leq 1$

✓ VYHOVUJE

***Kombinace ohybu a vzpěrného tlaku:***

Posouzení kombinace ohybu a vzpěrného tlaku:

Podmínka spolehlivosti dle (7.29):  $\frac{0,85}{0,98 * 9,69} + \frac{2,82}{16,62} + 0,7 \frac{1,68}{16,62} = 0,30 \leq 1$

✓ VYHOVUJE

Podmínka spolehlivosti dle (7.30):  $\frac{0,85}{0,98 * 9,69} + 0,7 \frac{2,82}{16,62} + \frac{1,68}{16,62} = 0,28 \leq 1$

✓ VYHOVUJE

Posuzovaný prvek B75 o rozměrech průřezu 100x100mm vyhovuje všem podmínkám a je využit na 30 %.



## 9.7 Prvek B76

### ***Posudek osového tahu:***

Návrhové napětí v tahu II s vlákny  
dle (7.3):

$$\sigma_{t,0,d} = 0,18 \text{ MPa}$$

Posouzení tahu II s vlákny:

Podmínka spolehlivosti dle (7.4):

$$\frac{0,18}{9,69} = 0,02 \leq 1,00$$

✓ VYHOVUJE

### ***Posudek vzpěrného tlaku:***

Návrhové napětí v tlaku II s vlákny  
dle (7.5):

$$\sigma_{c,0,d} = 0,85 \text{ MPa}$$

Posouzení vzpěrného tlaku:

Podmínka spolehlivosti dle (7.15):

$$\frac{0,41}{0,67 * 14,54} = 0,04 \leq 1,00$$

✓ VYHOVUJE

Podmínka spolehlivosti dle (7.16):

$$\frac{0,41}{0,67 * 14,54} = 0,04 \leq 1,00$$

✓ VYHOVUJE

### ***Posudek smyku:***

Návrhové napětí dle (7.17):

Návrhové napětí ve smyku k ose y:  $\tau_{v,y,d} = 0,15 \text{ MPa}$

Návrhové napětí ve smyku k ose z:  $\tau_{v,z,d} = 0,25 \text{ MPa}$

Posouzení smyku dle (7.18):

Podmínka spolehlivosti k ose y:  $\frac{0,15}{2,77} = 0,05 \leq 1$

Podmínka spolehlivosti k ose z:  $\frac{0,25}{2,77} = 0,09 \leq 1$

✓ VYHOVUJE

### ***Posudek ohybu:***

Návrhové napětí dle (7.19) a (7.20):

Návrhové napětí v ohybu k ose y:  $\sigma_{m,y,d} = 3,65 \text{ MPa}$

Návrhové napětí v ohybu k ose z:  $\sigma_{m,z,d} = 2,08 \text{ MPa}$

Posouzení jednoosého ohybu:

Podmínka spolehlivosti dle (7.21):  $\frac{3,65}{16,62} = 0,22 \leq 1$

✓ VYHOVUJE

Podmínka spolehlivosti dle (7.22):  $\frac{2,08}{16,62} = 0,13 \leq 1$

✓ VYHOVUJE

Posouzení dvouosého ohybu:

Podmínka spolehlivosti dle (7.23):  $\frac{3,65}{16,62} + 0,7 \frac{2,08}{16,62} = 0,31 \leq 1,00$

✓ VYHOVUJE

Podmínka spolehlivosti dle (7.24):  $0,7 \frac{3,65}{16,62} + \frac{2,08}{16,62} = 0,28 \leq 1,00$

✓ VYHOVUJE

***Kombinace ohybu a osového tahu:***

Posouzení kombinace ohybu a osového tlaku:

Podmínka spolehlivosti dle (7.25):  $\frac{0,18}{9,69} + \frac{3,65}{16,62} + 0,7 \frac{2,08}{16,62} = 0,31 \leq 1$

✓ VYHOVUJE

Podmínka spolehlivosti dle (7.26):  $\frac{0,18}{9,69} + 0,7 \frac{3,65}{16,62} + \frac{2,08}{16,62} = 0,28 \leq 1$

✓ VYHOVUJE

***Kombinace ohybu a vzpěrného tlaku:***

Posouzení kombinace ohybu a osového tlaku:

Podmínka spolehlivosti dle (7.29):  $\frac{0,41}{0,67 * 9,69} + \frac{3,65}{16,62} + 0,7 \frac{2,08}{16,62} = 0,35 \leq 1$

✓ VYHOVUJE

Podmínka spolehlivosti dle (7.30):  $\frac{0,41}{0,67 * 9,69} + 0,7 \frac{3,65}{16,62} + \frac{2,08}{16,62} = 0,32 \leq 1$

✓ VYHOVUJE

Posuzovaný prvek B76 o rozměrech průřezu 100x100mm vyhovuje všem podmínkám a je využit na 35 %.

## 9.8 Prvek B146

### ***Posudek vzpěrného tlaku:***

Návrhové napětí v tlaku II s vlákny  
dle (7.5):

$$\sigma_{c,0,d} = 0,92 \text{ MPa}$$

Posouzení tahu II s vlákny:

Podmínka spolehlivosti dle (7.15):

$$\frac{0,92}{0,81 * 14,54} = 0,08 \leq 1,00$$

✓ VYHOVUJE

Podmínka spolehlivosti dle (7.16):

$$\frac{0,92}{0,81 * 14,54} = 0,08 \leq 1,00$$

✓ VYHOVUJE

### ***Posudek smyku:***

Návrhové napětí dle (7.17):

Návrhové napětí ve smyku k ose y:

$$\tau_{v,y,d} = 0,02 \text{ MPa}$$

Návrhové napětí ve smyku k ose z:

$$\tau_{v,z,d} = 1,01 \text{ MPa}$$

Posouzení smyku dle (7.18):

Podmínka spolehlivosti k ose y:

$$\frac{0,02}{2,77} = 0,01 \leq 1$$

Podmínka spolehlivosti k ose z:

$$\frac{1,01}{2,77} = 0,37 \leq 1$$

✓ VYHOVUJE

### ***Posudek ohybu:***

Návrhové napětí dle (7.19) a (7.20):

Návrhové napětí v ohybu k ose y:

$$\sigma_{m,y,d} = 5,75 \text{ MPa}$$

Návrhové napětí v ohybu k ose z:

$$\sigma_{m,z,d} = 0,37 \text{ MPa}$$

Posouzení jednoosého ohybu:

Podmínka spolehlivosti dle (7.21):

$$\frac{5,75}{16,62} = 0,35 \leq 1$$

✓ VYHOVUJE

Podmínka spolehlivosti dle (7.22):  $\frac{0,37}{16,62} = 0,02 \leq 1$

✓ VYHOVUJE

Posouzení dvouosého ohybu:

Podmínka spolehlivosti dle (7.23):  $\frac{5,75}{16,62} + 0,7 \frac{0,37}{16,62} = 0,36 \leq 1,00$

✓ VYHOVUJE

Podmínka spolehlivosti dle (7.24):  $0,7 \frac{5,75}{16,62} + \frac{0,37}{16,62} = 0,26 \leq 1,00$

✓ VYHOVUJE

***Kombinace ohybu a vzpěrného tlaku:***

Posouzení kombinace ohybu a vzpěrného tlaku:

Podmínka spolehlivosti dle (7.29):  $\frac{0,92}{0,81 * 9,69} + \frac{5,75}{16,62} + 0,7 \frac{0,37}{16,62} = 0,44 \leq 1$

✓ VYHOVUJE

Podmínka spolehlivosti dle (7.30):  $\frac{0,92}{0,81 * 9,69} + 0,7 \frac{5,75}{16,62} + \frac{0,37}{16,62} = 0,34 \leq 1$

✓ VYHOVUJE

Posuzovaný prvek B146 o rozměrech průřezu 140x140mm vyhovuje všem podmínkám a je využit na 44 %.

## 9.9 Prvek B153

***Posudek osového tahu:***

Návrhové napětí v tahu II s vlákny  
dle (7.3):

$$\sigma_{t,0,d} = 0,03 \text{ MPa}$$

Posouzení tahu II s vlákny:

Podmínka spolehlivosti dle (7.4):  $\frac{0,03}{9,69} = 0,00 \leq 1,00$

✓ VYHOVUJE

***Posudek vzpěrného tlaku:***

Návrhové napětí v tlaku II s vlákny  
dle (7.5):

$$\sigma_{c,0,d} = 0,40 \text{ MPa}$$

Posouzení vzpěrného tlaku:

Podmínka spolehlivosti dle (7.15):  $\frac{0,40}{1,01 * 14,54} = 0,03 \leq 1,00$

✓ VYHOVUJE

Podmínka spolehlivosti dle (7.16):  $\frac{0,40}{1,01 * 14,54} = 0,03 \leq 1,00$

✓ VYHOVUJE

***Posudek smyku:***

Návrhové napětí dle (7.17):

Návrhové napětí ve smyku k ose y:  $\tau_{v,y,d} = 0,10 MPa$

Návrhové napětí ve smyku k ose z:  $\tau_{v,z,d} = 0,79 MPa$

Posouzení smyku dle (7.18):

Podmínka spolehlivosti k ose y:  $\frac{0,10}{2,77} = 0,04 \leq 1$

Podmínka spolehlivosti k ose z:  $\frac{0,79}{2,77} = 0,29 \leq 1$

✓ VYHOVUJE

***Posudek ohybu:***

Návrhové napětí dle (7.19) a (7.20):

Návrhové napětí v ohybu k ose y:  $\sigma_{m,y,d} = 3,61 MPa$

Návrhové napětí v ohybu k ose z:  $\sigma_{m,z,d} = 1,68 MPa$

Posouzení jednoosého ohybu:

Podmínka spolehlivosti dle (7.21):  $\frac{3,61}{16,62} = 0,22 \leq 1$

✓ VYHOVUJE

Podmínka spolehlivosti dle (7.22):  $\frac{1,68}{16,62} = 0,10 \leq 1$

✓ VYHOVUJE

Posouzení dvouosého ohybu:

Podmínka spolehlivosti dle (7.23):  $\frac{3,61}{16,62} + 0,7 \frac{1,68}{16,62} = 0,29 \leq 1,00$

✓ VYHOVUJE

Podmínka spolehlivosti dle (7.24):  $0,7 \frac{3,61}{16,62} + \frac{1,68}{16,62} = 0,25 \leq 1,00$

✓ VYHOVUJE

***Kombinace ohybu a osového tahu:***

Posouzení kombinace ohybu a osového tlaku:

Podmínka spolehlivosti dle (7.25):  $\frac{0,03}{9,69} + \frac{3,61}{16,62} + 0,7 \frac{1,68}{16,62} = 0,29 \leq 1$

✓ VYHOVUJE

Podmínka spolehlivosti dle (7.26):  $\frac{0,03}{9,69} + 0,7 \frac{3,61}{16,62} + \frac{1,68}{16,62} = 0,25 \leq 1$

✓ VYHOVUJE

***Kombinace ohybu a vzpěrného tlaku:***

Posouzení kombinace ohybu a vzpěrného tlaku:

Podmínka spolehlivosti dle (7.29):  $\frac{0,40}{1,01 * 9,69} + \frac{3,61}{16,62} + 0,7 \frac{1,68}{16,62} = 0,32 \leq 1$

✓ VYHOVUJE

Podmínka spolehlivosti dle (7.30):  $\frac{0,40}{1,01 * 9,69} + 0,7 \frac{3,61}{16,62} + \frac{1,68}{16,62} = 0,28 \leq 1$

✓ VYHOVUJE

Posuzovaný prvek B153 o rozměrech průřezu 100x100mm vyhovuje všem podmínkám a je využit na 32 %.

## 9.10 Prvek B175

***Posudek osového tahu:***

Návrhové napětí v tahu II s vlákny  
dle (7.3):

$$\sigma_{t,0,d} = 0,05 \text{ MPa}$$

Posouzení tahu II s vlákny:

Podmínka spolehlivosti dle (7.4):  $\frac{0,05}{9,69} = 0,01 \leq 1,00$

✓ VYHOVUJE

***Posudek vzpěrného tlaku:***

Návrhové napětí v tlaku II s vlákny  
dle (7.5):

$$\sigma_{c,0,d} = 0,49 \text{ MPa}$$

Posouzení vzpěrného tlaku:

Podmínka spolehlivosti dle (7.15):  $\frac{0,49}{1,02 * 14,54} = 0,03 \leq 1,00$

✓ VYHOVUJE

Podmínka spolehlivosti dle (7.16):  $\frac{0,49}{1,01 * 14,54} = 0,03 \leq 1,00$

✓ VYHOVUJE

***Posudek smyku:***

Návrhové napětí dle (7.17):

Návrhové napětí ve smyku k ose y:  $\tau_{v,y,d} = 0,49 MPa$

Návrhové napětí ve smyku k ose z:  $\tau_{v,z,d} = 0,87 MPa$

Posouzení smyku dle (7.18):

Podmínka spolehlivosti k ose y:  $\frac{0,49}{2,77} = 0,18 \leq 1$

Podmínka spolehlivosti k ose z:  $\frac{0,87}{2,77} = 0,32 \leq 1$

✓ VYHOVUJE

***Posudek ohybu:***

Návrhové napětí dle (7.19) a (7.20):

Návrhové napětí v ohybu k ose y:  $\sigma_{m,y,d} = 4,09 MPa$

Návrhové napětí v ohybu k ose z:  $\sigma_{m,z,d} = 3,72 MPa$

Posouzení jednoosého ohybu:

Podmínka spolehlivosti dle (7.21):  $\frac{4,09}{16,62} = 0,25 \leq 1$

✓ VYHOVUJE

Podmínka spolehlivosti dle (7.22):  $\frac{3,72}{16,62} = 0,22 \leq 1$

✓ VYHOVUJE

Posouzení dvouosého ohybu:

Podmínka spolehlivosti dle (7.23):  $\frac{4,09}{16,62} + 0,7 \frac{3,72}{16,62} = 0,40 \leq 1,00$

✓ VYHOVUJE

Podmínka spolehlivosti dle (7.24):  $0,7 \frac{3,61}{16,62} + \frac{1,68}{16,62} = 0,40 \leq 1,00$

✓ VYHOVUJE

***Kombinace ohybu a osového tahu:***

Posouzení kombinace ohybu a osového tlaku:

Podmínka spolehlivosti dle (7.25):  $\frac{0,05}{9,69} + \frac{4,09}{16,62} + 0,7 \frac{3,72}{16,62} = 0,40 \leq 1$

✓ VYHOVUJE

Podmínka spolehlivosti dle (7.26):  $\frac{0,05}{9,69} + 0,7 \frac{4,09}{16,62} + \frac{3,72}{16,62} = 0,40 \leq 1$

✓ VYHOVUJE

***Kombinace ohybu a vzpěrného tlaku:***

Posouzení kombinace ohybu a vzpěrného tlaku:

Podmínka spolehlivosti dle (7.29):  $\frac{0,49}{1,02 * 9,69} + \frac{4,09}{16,62} + 0,7 \frac{3,72}{16,62} = 0,44 \leq 1$

✓ VYHOVUJE

Podmínka spolehlivosti dle (7.30):  $\frac{0,49}{1,02 * 9,69} + 0,7 \frac{4,09}{16,62} + \frac{3,72}{16,62} = 0,43 \leq 1$

✓ VYHOVUJE

Posuzovaný prvek B175 o rozměrech průřezu 140x140mm vyhovuje všem podmínkám a je využit na 44 %.

## 9.11 Prvek B190

***Posudek osového tahu:***

Návrhové napětí v tahu II s vlákny  
dle (7.3):

$$\sigma_{t,0,d} = 0,23 \text{ MPa}$$

Posouzení tahu II s vlákny:

Podmínka spolehlivosti dle (7.4):  $\frac{0,23}{9,69} = 0,02 \leq 1,00$

✓ VYHOVUJE

***Posudek vzpěrného tlaku:***

Návrhové napětí v tlaku II s vlákny  
dle (7.5):

$$\sigma_{c,0,d} = 0,51 \text{ MPa}$$



Posouzení vzpěrného tlaku:

Podmínka spolehlivosti dle (7.15):  $\frac{0,51}{0,38 * 14,54} = 0,09 \leq 1,00$

✓ VYHOVUJE

Podmínka spolehlivosti dle (7.16):  $\frac{0,51}{0,94 * 14,54} = 0,04 \leq 1,00$

✓ VYHOVUJE

***Posudek smyku:***

Návrhové napětí dle (7.17):

Návrhové napětí ve smyku k ose y:  $\tau_{v,y,d} = 0,14 MPa$

Návrhové napětí ve smyku k ose z:  $\tau_{v,z,d} = 0,53 MPa$

Posouzení smyku dle (7.18):

Podmínka spolehlivosti k ose y:  $\frac{0,14}{2,77} = 0,05 \leq 1$

Podmínka spolehlivosti k ose z:  $\frac{0,53}{2,77} = 0,19 \leq 1$

✓ VYHOVUJE

***Posudek ohybu:***

Návrhové napětí dle (7.19) a (7.20):

Návrhové napětí v ohybu k ose y:  $\sigma_{m,y,d} = 4,00 MPa$

Návrhové napětí v ohybu k ose z:  $\sigma_{m,z,d} = 1,77 MPa$

Posouzení jednoosého ohybu:

Podmínka spolehlivosti dle (7.21):  $\frac{4,00}{16,62} = 0,24 \leq 1$

✓ VYHOVUJE

Podmínka spolehlivosti dle (7.22):  $\frac{1,77}{16,62} = 0,11 \leq 1$

✓ VYHOVUJE

Posouzení dvouosého ohybu:

Podmínka spolehlivosti dle (7.23):  $\frac{4,00}{16,62} + 0,7 \frac{1,77}{16,62} = 0,32 \leq 1,00$

✓ VYHOVUJE

Podmínka spolehlivosti dle (7.24):  $0,7 \frac{4,00}{16,62} + \frac{1,77}{16,62} = 0,28 \leq 1,00$

✓ VYHOVUJE

***Kombinace ohybu a osového tahu:***

Posouzení kombinace ohybu a osového tlaku:

Podmínka spolehlivosti dle (7.25):  $\frac{0,23}{9,69} + \frac{4,00}{16,62} + 0,7 \frac{1,77}{16,62} = 0,32 \leq 1$

✓ VYHOVUJE

Podmínka spolehlivosti dle (7.26):  $\frac{0,23}{9,69} + 0,7 \frac{4,00}{16,62} + \frac{1,77}{16,62} = 0,28 \leq 1$

✓ VYHOVUJE

***Kombinace ohybu a vzpěrného tlaku:***

Posouzení kombinace ohybu a vzpěrného tlaku:

Podmínka spolehlivosti dle (7.29):  $\frac{0,51}{0,38 * 9,69} + \frac{4,00}{16,62} + 0,7 \frac{1,77}{16,62} = 0,41 \leq 1$

✓ VYHOVUJE

Podmínka spolehlivosti dle (7.30):  $\frac{0,51}{0,94 * 9,69} + 0,7 \frac{4,00}{16,62} + \frac{1,77}{16,62} = 0,31 \leq 1$

✓ VYHOVUJE

Posuzovaný prvek B190 o rozměrech průřezu 140x140mm vyhovuje všem podmínkám a je využit na 41 %.

## 9.12 Prvek B195

***Posudek vzpěrného tlaku:***

Návrhové napětí v tlaku II s vlákny  
dle (7.5):

$$\sigma_{c,0,d} = 0,03 \text{ MPa}$$

Posouzení tahu II s vlákny:

Podmínka spolehlivosti dle (7.15):  $\frac{0,03}{0,97 * 14,54} = 0,00 \leq 1,00$

✓ VYHOVUJE

Podmínka spolehlivosti dle (7.16):  $\frac{0,03}{0,97 * 14,54} = 0,00 \leq 1,00$

✓ VYHOVUJE

**Posudek smyku:**

Návrhové napětí dle (7.17):

Návrhové napětí ve smyku k ose y:  $\tau_{v,y,d} = 0,13 \text{ MPa}$

Návrhové napětí ve smyku k ose z:  $\tau_{v,z,d} = 0,57 \text{ MPa}$

Posouzení smyku dle (7.18):

Podmínka spolehlivosti k ose y:  $\frac{0,13}{2,77} = 0,05 \leq 1$

Podmínka spolehlivosti k ose z:  $\frac{0,57}{2,77} = 0,21 \leq 1$

✓ VYHOVUJE

**Posudek ohybu:**

Návrhové napětí dle (7.19) a (7.20):

Návrhové napětí v ohybu k ose y:  $\sigma_{m,y,d} = 5,42 \text{ MPa}$

Návrhové napětí v ohybu k ose z:  $\sigma_{m,z,d} = 1,22 \text{ MPa}$

Posouzení jednoosého ohybu:

Podmínka spolehlivosti dle (7.21):  $\frac{5,42}{16,62} = 0,33 \leq 1$

✓ VYHOVUJE

Podmínka spolehlivosti dle (7.22):  $\frac{1,22}{16,62} = 0,07 \leq 1$

✓ VYHOVUJE

Posouzení dvouosého ohybu:

Podmínka spolehlivosti dle (7.23):  $\frac{5,42}{16,62} + 0,7 \frac{1,22}{16,62} = 0,38 \leq 1,00$

✓ VYHOVUJE

Podmínka spolehlivosti dle (7.24):  $0,7 \frac{5,42}{16,62} + \frac{1,22}{16,62} = 0,30 \leq 1,00$

✓ VYHOVUJE

**Kombinace ohybu a vzpěrného tlaku:**

Posouzení kombinace ohybu a vzpěrného tlaku:

Podmínka spolehlivosti dle (7.29):  $\frac{0,03}{0,97 * 9,69} + \frac{5,42}{16,62} + 0,7 \frac{1,22}{16,62} = 0,38 \leq 1$

✓ VYHOVUJE

Podmínka spolehlivosti dle (7.30): 
$$\frac{0,03}{0,97 * 9,69} + 0,7 \frac{5,42}{16,62} + \frac{122}{16,62} = 0,30 \leq 1$$

✓ VYHOVUJE

Posuzovaný prvek B195 o rozměrech průřezu 140x140mm vyhovuje všem podmínkám a je využit na 38 %.

### 9.13 Prvek B196

#### ***Posudek osového tahu:***

Návrhové napětí v tahu II s vlákny  
dle (7.3):

$$\sigma_{t,0,d} = 0,17 \text{ MPa}$$

Posouzení tahu II s vlákny:

Podmínka spolehlivosti dle (7.4): 
$$\frac{0,17}{9,69} = 0,02 \leq 1,00$$

✓ VYHOVUJE

#### ***Posudek vzpěrného tlaku:***

Návrhové napětí v tlaku II s vlákny  
dle (7.5):

$$\sigma_{c,0,d} = 0,18 \text{ MPa}$$

Posouzení vzpěrného tlaku:

Podmínka spolehlivosti dle (7.15): 
$$\frac{0,18}{0,88 * 14,54} = 0,01 \leq 1,00$$

✓ VYHOVUJE

Podmínka spolehlivosti dle (7.16): 
$$\frac{0,18}{0,88 * 14,54} = 0,01 \leq 1,00$$

✓ VYHOVUJE

#### ***Posudek smyku:***

Návrhové napětí dle (7.17):

Návrhové napětí ve smyku k ose y: 
$$\tau_{v,y,d} = 0,15 \text{ MPa}$$

Návrhové napětí ve smyku k ose z: 
$$\tau_{v,z,d} = 0,61 \text{ MPa}$$

Posouzení smyku dle (7.18):

Podmínka spolehlivosti k ose y: 
$$\frac{0,15}{2,77} = 0,05 \leq 1$$

Podmínka spolehlivosti k ose z:  $\frac{0,61}{2,77} = 0,22 \leq 1$

✓ VYHOVUJE

***Posudek ohybu:***

Návrhové napětí dle (7.19) a (7.20):

Návrhové napětí v ohybu k ose y:  $\sigma_{m,y,d} = 7,11 \text{ MPa}$

Návrhové napětí v ohybu k ose z:  $\sigma_{m,z,d} = 1,81 \text{ MPa}$

Posouzení jednoosého ohybu:

Podmínka spolehlivosti dle (7.21):  $\frac{7,11}{16,62} = 0,43 \leq 1$

✓ VYHOVUJE

Podmínka spolehlivosti dle (7.22):  $\frac{1,81}{16,62} = 0,11 \leq 1$

✓ VYHOVUJE

Posouzení dvouosého ohybu:

Podmínka spolehlivosti dle (7.23):  $\frac{7,11}{16,62} + 0,7 \frac{1,81}{16,62} = 0,50 \leq 1,00$

✓ VYHOVUJE

Podmínka spolehlivosti dle (7.24):  $0,7 \frac{7,11}{16,62} + \frac{1,81}{16,62} = 0,41 \leq 1,00$

✓ VYHOVUJE

***Kombinace ohybu a osového tahu:***

Posouzení kombinace ohybu a osového tlaku:

Podmínka spolehlivosti dle (7.25):  $\frac{0,17}{9,69} + \frac{7,11}{16,62} + 0,7 \frac{1,22}{16,62} = 0,50 \leq 1$

✓ VYHOVUJE

Podmínka spolehlivosti dle (7.26):  $\frac{0,17}{9,69} + 0,7 \frac{7,11}{16,62} + \frac{1,22}{16,62} = 0,41 \leq 1$

✓ VYHOVUJE

***Kombinace ohybu a vzpěrného tlaku:***

Posouzení kombinace ohybu a vzpěrného tlaku:

Podmínka spolehlivosti dle (7.29):  $\frac{0,18}{0,88 * 9,69} + \frac{7,11}{16,62} + 0,7 \frac{1,22}{16,62} = 0,52 \leq 1$

✓ VYHOVUJE

Podmínka spolehlivosti dle (7.30): 
$$\frac{0,18}{0,88 * 9,69} + 0,7 \frac{7,11}{16,62} + \frac{1,22}{16,62} = 0,42 \leq 1$$

✓ VYHOVUJE

Posuzovaný prvek B196 o rozměrech průřezu 140x140mm vyhovuje všem podmínkám a je využit na 52 %.

## 10 POSUZOVÁNÍ OCELOVÝCH TÁHEL

Ocelová táhla se posuzují pouze na maximální takovou sílu.

Tahová únosnost:

$$N_{t,Rd} = A * f_y / \gamma_{M0} \quad (10.1)$$

Kde:  $\gamma_{M0}$  je dílčí součinitel spolehlivosti

$f_y$  napětí na mezi kluzu

Posouzení tahové únosnosti:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1,00 \quad (10.2)$$

V konstrukci se nachází celkem 8 táhel o průměru 10 mm z konstrukční třídy oceli S355.

Tahová únosnost táhel:

$$\begin{aligned} \text{Tahová únosnost táhel dle (10.1): } N_{t,Rd} &= A * f_y / \gamma_{M0} = 10 * \pi^2 * 355 / 1,00 \\ &= 111526N = 111,53kN \end{aligned}$$

### 10.1 Maximální tahové síly

	$N_{Ed}$ [kN]
B8	2,16
B9	8,76
B23	4,47
B24	4,58
B36	2,29
B37	7,74
B46	7,00
B120	8,00

### 10.2 Posudky jednotlivých táhel

$$\text{Táhlo B8: } \frac{2,16}{111,53} = 0,02 \leq 1,00$$

$$\text{Táhlo B9: } \frac{8,76}{111,53} = 0,08 \leq 1,00$$

Táhlo B23:	$\frac{4,47}{111,53} = 0,04 \leq 1,00$
Táhlo B24:	$\frac{4,58}{111,53} = 0,04 \leq 1,00$
Táhlo B36:	$\frac{2,29}{111,53} = 0,02 \leq 1,00$
Táhlo B37:	$\frac{7,74}{111,53} = 0,07 \leq 1,00$
Táhlo B46:	$\frac{7,00}{111,53} = 0,06 \leq 1,00$
Táhlo B120:	$\frac{8,00}{111,53} = 0,07 \leq 1,00$

✓ VYHOVUJE

Navržené táhla o průměru 10 mm konstrukční třídy oceli S355 vyhoví na podmínku spolehlivosti  $\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1,00$  s maximálním využitím 8 %.



## 11 NÁVRH A POSOUZENÍ KOTVENÍ NOSNÉ KONSTRUKCE

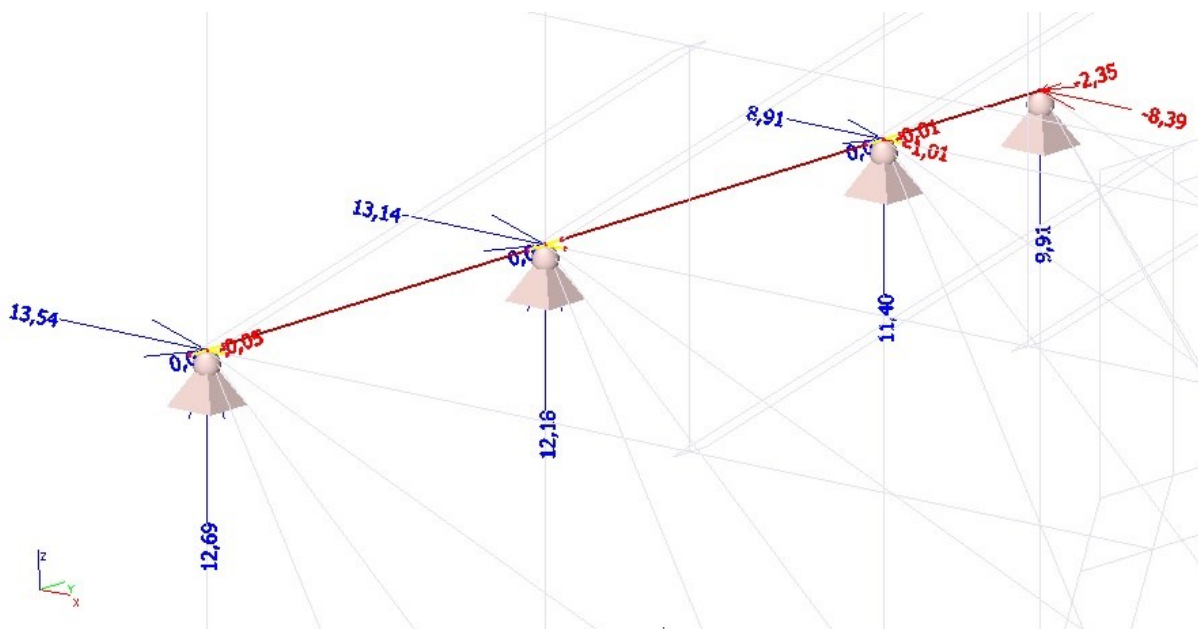
V následující kapitole bude navrženo a posouzeno kotvení horolezecké stěny ke zdivu a ŽB věnci. Dále bude tento ŽB věnec, přenášející vodorovné zatížení, posouzen na únosnost v ohybu. Kotvení bude navrženo pomocí chemických kotev a hmoždinek od firmy Metalfix s.r.o.

### 11.1 Kotvení do ŽB věnce

Navrhovaná horolezecká stěna bude do ŽB věnce připevněna přes styčnickový plech navařený k chemické kotvě. Takovéto kotvení je navrženo ve 4 bodech. Chemické kotvy byly navrženy podle maximální reakce v těchto bodech. Tyto reakce jsou uvedeny v tabulce a na Obr. 11.1.

	$R_x$ [kN]	$R_z$ [kN]
Vazba A	13,54	12,69
Vazba B	13,14	12,18
Vazba C	8,91	11,4
Vazba D	-8,39	9,91

Tab. 11.1 Hodnoty maximálních reakcí v místě ŽB nosníku



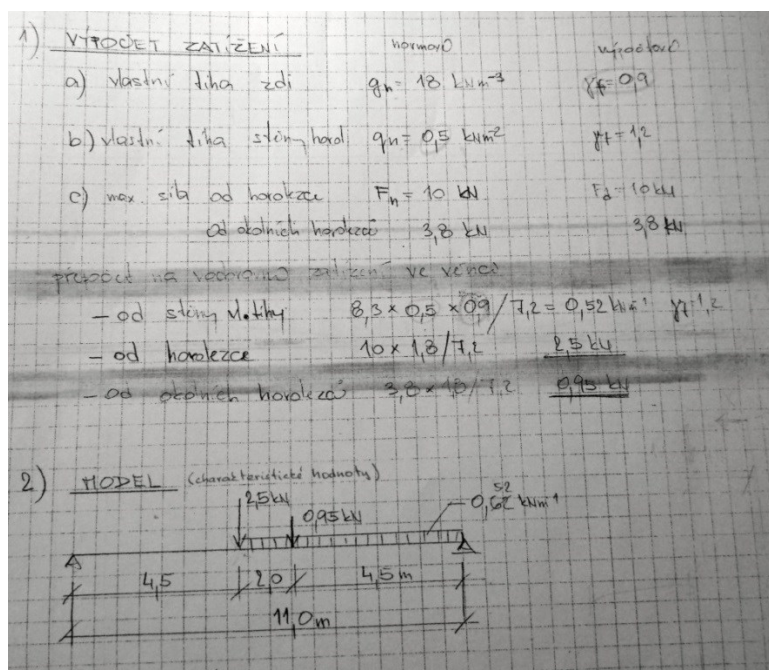
Obrázek 11.1 Maximální reakce v místě ŽB věnce

Chemická kotva je navržena na maximální tahovou sílu  $R_x=13,54$  kN a maximální smykovou sílu  $R_z=12,69$  kN. Podle tabulek výrobce byly zvoleny kotevní šrouby o průměru

16 mm s příslušnou skleněnou ampulí RM16. Tyto mají únosnost v tahu 28,4 kN a ve smyku 20,5 kN.

## 11.2 Posouzení ohybové únosnosti ŽB věnce

Typ použitého betonu a výztuže, včetně jejího počtu a průměru byl převzat ze statického výpočtu stávající horolezecké stěny. Stejně tak i stávající charakteristické zatížení působící na ŽB věnec. Pro výpočet byly tyto hodnoty přenásobeny součinitelem bezpečnosti  $\gamma$  a kombinačním součinitelem  $\psi$  viz tab. ŽB věnec je dále přitížen reakcemi  $R_x$ , dle tab. 11.1.



Obrázek 11.2 Stávající zatížení ŽB věnce

	$g_k, F_k$	jednotka	$\gamma$	$\psi$	$g_d, F_d$	jednotka
VI. tíha horolezecké stěny	0,52	[kNm <sup>-1</sup> ]	1,35	-	0,70	[kNm <sup>-1</sup> ]
Horolezec	2,50	[kN]	1,5	-	3,75	[kN]
Okolní horolezci	0,95	[kN]	1,5	0,8	1,14	[kN]

Délka zdi, kterou tento ŽB věnec ztužuje je 11 m. Protože není zjištěno přesné uložení na jeho okrajích, bude počítáno s prostým uložením. Je tedy nutné uvažovat efektivní délku nosníku určenou dle (11.1).

$$l_{eff} = l_n + a_1 + a_2 \quad (11.1)$$

Kde:  $l_n$  je světlá vzdálenost mezi líci podpor

$a_1, a_2$  vyjadřují podmínky uložení nosníku

$$a_1 = a_2 = \min \left\{ \frac{1}{2} h, \frac{1}{2} t \right\} \quad \text{pro oboustranně prosté uložení}$$

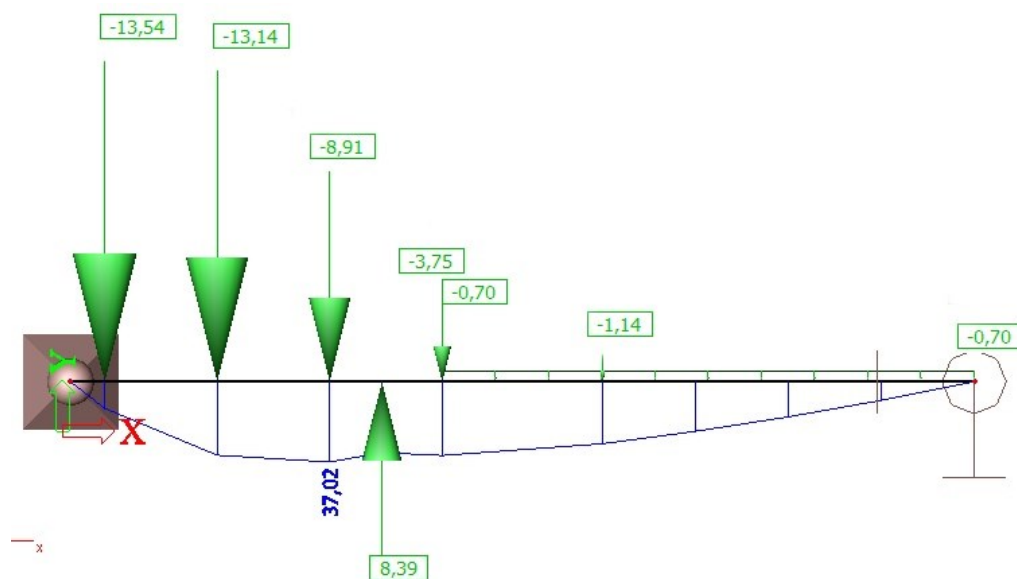
$t=600\text{mm}$  tloušťka úložné zdi

$$a_1, a_2 \quad a_1 = a_2 = \min \left\{ \frac{1}{2} 250, \frac{1}{2} 600 \right\} = 125\text{mm}$$

Efektivní délka nosníku:

$$l_{eff} = 11000 + 125 + 125 = 11250\text{mm}$$

$$= 11,25\text{m}$$



Obrázek 11.3 ŽB věnec se zatížením a hodnotou maximálního ohybového momentu

Výsledný maximální ohybový  
moment ve vodorovném směru:

$$M_{max} = 37,02 \text{ kNm}$$

### **Parametry ŽB věnce:**

Šířka  $b$ :  $500\text{mm}$

Výška  $h$ :  $250\text{mm}$

Typ betonu:  $B15$

Typ výztuže:  $10425(V)$

Počet a průměr výztuže:  $4x\varnothing 12\text{mm}$

Beton B15 je v novém značení beton C12/15 s krychelnou pevností v tlaku 15 MPa, výztuž 10425(V) je výztuž B420B s pevností na mezi kluzu 420 MPa. Návrhové pevnosti materiálů dle následující rovnice (11.2):

$$f_{id} = \frac{f_{ik}}{\gamma_i} \quad (11.2)$$

Kde:  $f_k$  jsou charakteristické hodnoty pevnosti materiálu

$f_d$  návrhové hodnoty pevností materiálu

$\gamma$  součinitel vlastností materiálu

$\gamma_c=1,50$  pro beton

$\gamma_s=1,15$  pro ocel

$f_{ck}$ : 12,00 MPa

$f_{cd}$ : 8,00 MPa

$f_{yk}$ : 420,00 MPa

$f_{yd}$ : 365,22 MPa

### 11.2.1 Výpočet únosnosti ŽB věnce

**Krytí výztuže:**

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev} \quad (11.3)$$

$$c_{min} = \max \left\{ \begin{array}{l} c_{min,b} \\ c_{min,dur} \\ 10 \text{ mm} \end{array} \right\} \quad (11.4)$$

Kde:  $c_{min,b}$  je minimální krycí vrstva s přihlédnutím na soudružnost, většinou je rovna  $\emptyset$  výztuže

$c_{min,dur}$  je minimální krycí vrstva závislá na stupni vlivu prostředí

$\Delta c_{dev}$  toleranční zvětšení

ŽB věnec je umístěn uvnitř budovy, tedy v suchém prostředí. Předpokládáme stupeň vlivu prostředí X0  $\rightarrow c_{min,dur} = 10 \text{ mm}$

Minimální krycí vrstva dle (12.4):  $c_{min} = \max \left\{ \begin{array}{l} 12 \text{ mm} \\ 10 \text{ mm} \\ 10 \text{ mm} \end{array} \right\} = 12 \text{ mm}$

Krytí výztuže dle (12.3):  $c_{nom} = 12 + 8 = 20 \text{ mm}$

**Plocha výztuže:**

$$A_s = n * \pi * \varnothing^2 \quad (11.5)$$

Kde:  $n$  je počet prutů  
 $\varnothing$  průměr výztuže

Ve věnci jsou 4 pruty o průměru  $\varnothing 12$  mm.

Plocha výztuže dle (12.5):  $A_s = 4 * \pi * 12^2 = 452,39 \text{ mm}^2$

**Síla ve výztuži:**

$$F_s = A_s * f_{yd} \quad (11.6)$$

$$F_s = 452,39 * 365,12 = 165,18 * 10^3 \text{ N}$$

**Výška tlačené oblasti:**

$$x = \frac{F_s}{0,8 * b * f_{cd}} \quad (11.7)$$

$$x = \frac{165,18 * 10^3}{0,8 * 500 * 8} = 51,62 \text{ mm}$$

**Účinná výška průřezu:**

$$d = h - c - \frac{\varnothing}{2} \quad (11.8)$$

$$d = 300 - 20 - \frac{12}{2} = 274,00 \text{ mm}$$

**Moment únosnosti průřezu:**

$$M_{Rd} = F_s * (d - 0,4 * x) \quad (11.9)$$

$$M_{Rd} = 165,18 * 10^3 * (274,00 - 0,4 * 51,62) = 41,86 \text{ kNm}$$

### 11.2.2 Posouzení ohybové únosnosti

$$M_{Rd} \geq M_{max} \quad (11.10)$$

$$41,86 \text{ kNm} > 37,02 \text{ kNm}$$

✓ VYHOVUJE

ŽB věnec vyhovuje na přitížení od nové lezecké stěny.

### 11.3 Kotvení do zdiva

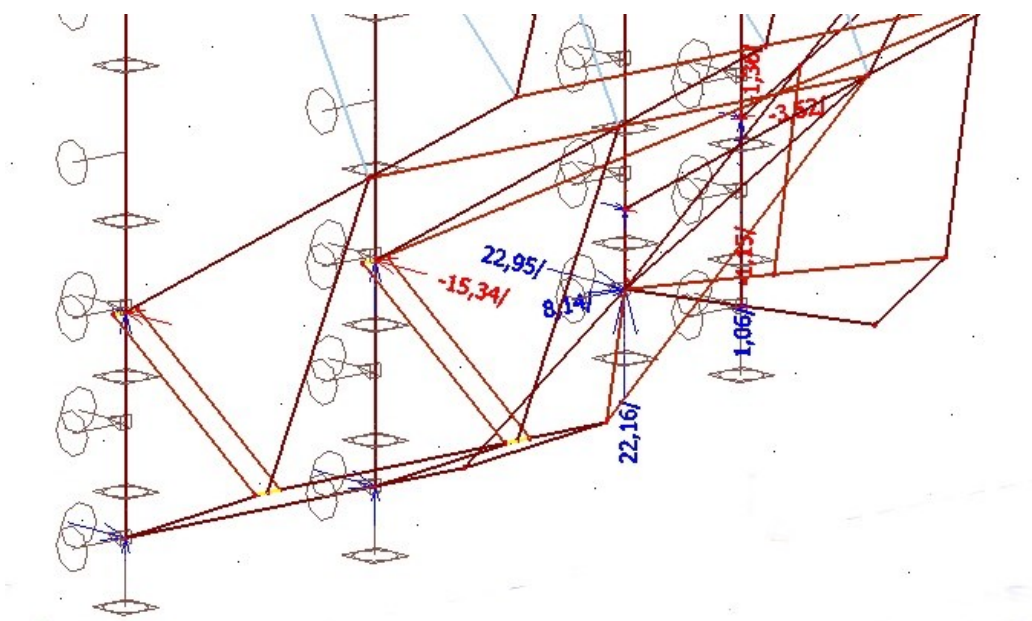
#### 11.3.1 Zatížení kolmo k rovině zdiva

Horolezecká stěna bude částečně kotvená i do zdiva. Ve spodní části, 1 m od okraje svislých trámů, bude do zdiva přenášen i tlak. Zdivo má v tlaku působícím kolmo k jeho rovině velmi malou únosnost a příslušná norma [5] tento typ zatížení neřeší. Způsob jakým je možné na tento způsob namáhání zdivo posoudit, je roznést tlakovou nebo tahovou sílu na větší plochu, poté lze takové zatížení posoudit obdobně jako zatížení větrem. V praxi tzn., že je prvek vyvolávající tlakové nebo tahové zatížení přikotven ke zdivu pomocí roznášecí desky. V tomto případě bude mezi svislým nosným trámem a zdivem ocelová deska o rozměrech 300x1000 mm. Tato deska bude do zdiva po obou stranách přikotvena celkem 12 mosaznými hmoždinkami. Pokud by vznikala tah, musela by tato roznášecí deska být z obou stran zdiva, vzájemně propojena například závitovými tyčemi.

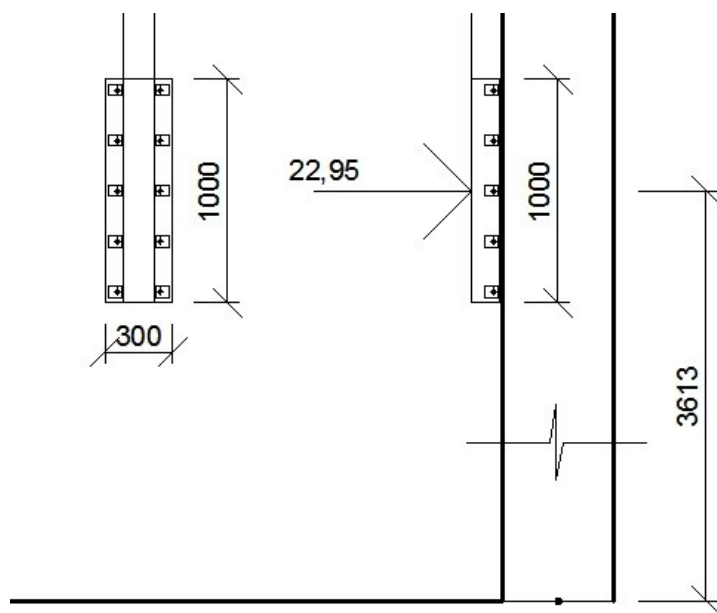
#### Posouzení spodní části zdiva a kotvení do zdiva

	$R_x$ [kN]	$R_y$ [kN]	$R_z$ [kN]
Vazba A	16,67	-0,34	10,93
Vazba B	18,45	-2,42	10,88
Vazba C	22,95	8,14	22,16
Vazba D	6,72	-3,52	7,19

Tabulka 11-1 Maximální reakce ve spodní části svislých trámů



Obrázek 11.4 Maximální reakce ve spodní části svislých trámů



Obrázek 11.5 Schéma zatížení kolmo k rovině zdiva

Jak už bylo uvedeno v předešlém odstavci, takovéto zatížení lze řešit obdobně jako zatížení větrem. To se řeší převedením náhradního břemene z plošného zatížení na moment  $M_{Ed}$  k patě zdiva. Dle výpočtu dále.

Posouzení ohybové únosnosti zdiva:

$$M_{Ed} \leq M_{Rd} \quad (11.11)$$

Návrhový moment únosnosti zdiva v ohybu:

$$M_{Rd} = f_{xd} * Z \quad (11.12)$$

Kde:  $f_{xd}$  je návrhová hodnota pevnosti zdiva v odpovídající rovině ohybu určená podle (3.6.3) v [5]  
 $Z$  průřezový modul v pružném stavu na jednotku výšky nebo délky stěny určený dle (11.13)

$$Z = \frac{1}{6} b * t^2 \quad (11.13)$$

$$Z = \frac{1}{6} * 1000 * 4113^2$$

$$Z = 2888428167 \text{ mm}^3$$

Charakteristická pevnost zdiva  
v ohybu:

$$f_{xk} = 0,4 \text{ MPa}$$

Návrhová pevnost zdiva v ohybu:

$$f_{xd} = \frac{f_{xk}}{\gamma_M} = \frac{0,4}{2,0} = 0,2 \text{ MPa}$$

Kde:  $\gamma_M=2,0$  je dílčí součinitel materiálu, hodnota je platná pro cihlu plnou pálenou a návrhovou maltu

Návrhový moment únosnosti dle (11.12):  $M_{Rd} = 0,2 * 2888428167 = 577,69 * 10^6 \text{ Nmm}$   
 $= 577,69 \text{ kNm}$

Návrhový ohybový moment k patě stěny:  $M_{Ed} = r * R_x = 3,613 * 22,95 = 82,92 \text{ kNm}$

Kde:  $r$  je vzdálenost síly k patě stěny

Posouzení ohybové únosnosti

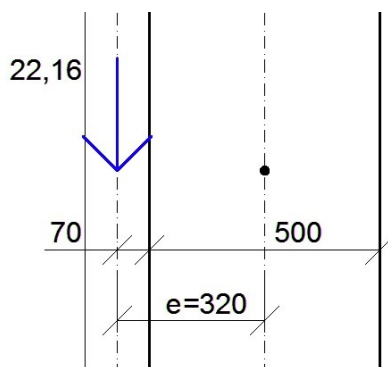
v ohybu kolmo k rovině zdiva dle (11.11):  $85,92 \text{ kNm} \leq 577,69 \text{ kNm}$

✓ VYHOVUJE

Zdivo vyhoví na namáhání tlakem působícím kolmo k rovině stěny. Je ale nutné dodržet navržený způsob kotvení pomocí roznášecí desky.

### 11.3.2 Svislé zatížení v rovině zdiva

Toto zatížení se může uvažovat jako soustředné zatížení, ale protože je výstřednost zatížení  $e$  určená dle (11.14) větší než čtvrtina tloušťky stěny je nutné opět toto zatížení převést na ohybový moment a posoudit jej stejně jako v předešlé kapitole.



Obrázek 11.6 Schéma svislého zatížení

$$e = 320 \text{ mm} < t/4 = 500/4 = 125 \text{ mm} \quad (11.14)$$

Ohybová únosnost pro svislé zatížení se vypočítá stejným vzorcem (11.12). S tím rozdílem, že musíme ve výpočtu zohlednit příznivý vliv přitížení vlastní tíhy zdiva dle vzorce (11.15).

$$f_{xd,app} = f_{xd} * \sigma_d \quad (11.15)$$

Kde:  $\sigma_d$  je návrhová hodnota napětí tlaku ve stěně určené dle (11.16)



$$\sigma_d = \frac{N_{Gd} + N_{Ed}}{A_1} = \frac{47400 + 22160}{500 * 1000} = 0,139 \text{ MPa} \quad (11.16)$$

Kde:  $N_{Gd}$  je svislé zatížení od vlastní tíhy zdiva nad posuzovaným místem, určený dle (11.17)

$N_{Ed}$  je reakce  $R_z$

$$N_{Gd} = A_1 * h * \frac{\rho * g}{1000} * \gamma_G = 1,00 * 0,50 * 3,84 * \frac{1830 * 10}{1000} * 1,35 = 47,4 \text{ kN} \quad (11.17)$$

Kde:  $A_1$  je plocha zděné stěny pro zatěžovací šířku 1 m

$h$  výška zdiva nad posuzovaným místem

$\rho=1830 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$  objemová hmotnost zdiva

$g=10 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$  gravitační zrychlení

Zvýšená pevnost zdiva v tahu za  $f_{xd,app} = 0,2 * 0,139 = 0,028 \text{ MPa}$  ohybu dle (11.15):

Návrhový moment únosnosti dle (11.12):  $M_{Rd} = f_{xd,app} * Z = 0,028 * 2888,43 * 10^6 = 80,30 * 10^6 \text{ Nmm} = 80,30 \text{ kNm}$

Návrhový ohybový moment:  $M_{Ed} = r * R_x = 0,32 * 22,16 = 7,09 \text{ kNm}$

Posouzení ohybové únosnosti

v ohybu rovnoběžně s rovinou zdiva

$$7,09 \text{ kNm} \leq 80,30 \text{ kNm}$$

dle (11.11):

✓ VYHOVUJE

### 11.3.3 Návrh a posouzení kotvení

Jako kotvení byly navrženy mosazné hmoždinky MSS 16/45mm M16. Tyto hmoždinky byly vybrány, protože jsou určené pro použití jak do betonu, tak i do zdiva. Únosnost jedné této hmoždinky ve smyku je  $F_{b,Rd}=2,80 \text{ kN}$ .

Maximální reakce ve svislých sloupech vzniká ve spodní části, kde bude kotvení provedeno pomocí roznášecí desky. V této části je navrženo celkem 12 hmoždinek viz obr. 11.5.

Maximální smyková reakce:  $R_{z,max} = 22,16 \text{ kN}$

Počet hmoždinek ve spodní části:  $n_h = 12 \text{ ks}$

Posouzení smykové únosnosti hmoždinek:

$$F_{b,Ed} = \frac{R_{z,max}}{n_h} = \frac{22,16}{12} = 1,85 \text{ kN} < F_{b,Rd} = 2,80 \text{ kN} \quad (11.18)$$

✓ VYHOVUJE

## 12 Závěr

Cílem této práce byl návrh a posouzení nosné konstrukce horolezecké stěny. V kapitole 5 této práce byla po konzultacích se správcem stávající horolezecké stěny a po provedení stavebního průzkumu navržena nosná konstrukce. Ke stěžejním úkolům při návrhu konstrukce patří správné stanovení zatížení, jeho kombinací a jejich následné zadání do výpočtového modelu konstrukce. Čímž se zabývá kapitola 4a 6. V kapitole 7. až 10. se práce zabývá posouzením nejvíce namáhaných prvků, ostatní prvky jsou posouzeny v příloze 2. Může se zdát, že je konstrukce s maximálním využitím prvků na 58 % předimenzována, ale při návrhu byly zohledněny konstrukční zásady pro spoje, i přesto, že v této práci nejsou řešeny.

Tato práce se navíc zabývá i kotvením nosné konstrukce a to do ŽB věnce a zděné stěny. Návrhem a posouzením kotvení se zabývá kapitola 11. Největším problémem bylo posouzení zdiva na tlakové zatížení, protože takový typ zatížení neřeší ani příslušná norma a výrobci cihel neuvádí přesné hodnoty únosností pro zatížení tlakem v tomto směru.

Konstrukce byla posuzována pouze podle mezního stavu únosnosti, který je pro daný typ konstrukce rozhodujícím. Na konstrukci působí proměnné zatížení pouze krátkodobě a nemá žádný vliv na dotvarování konstrukce, proto je mezní stav použitelnosti zanedbán. Po návrhu a posudcích veškerých spojů a vypracování podrobné výkresové dokumentace, je možné tuto práci použít jako podklad pro realizační projekt.

## **13 Seznam použité literatury**

### **13.1 Normy**

- [1] ČSN EN 12572-1 Umělé lezecké stěny – Část 1: Bezpečnostní požadavky a zkušební metody pro ULS s jistíci body, ČNI, 2007.
- [2] ČSN EN 1992-1-1 Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby, ČNI, 2011.
- [3] ČSN EN 1993-1-1 Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-1: Navrhování ocelových tažených konstrukcí, ČNI, 2008.
- [4] ČSN EN 1995-1-1 Eurokód 5: Navrhování dřevěných konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla – Společná pravidla a pravidla pro pozemní stavby, ČNI, 2006.
- [5] ČSN EN 1995-1-1 Eurokód 6: Navrhování zděných konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla pro vyztužené a nevyztužené zděné konstrukce, ČNI, 2007.

### **13.2 Literatura**

- [6] Doc. Ing. Karel Lorenz, CSc., Nosné konstrukce II – Kovové a dřevěné konstrukce, ČVUT, 2003
- [7] Lokaj, A.: Materiály z přednášek Kovové a dřevěné konstrukce, 2013
- [8] BLV Buchverlag GmbH & Co. KG, Indoor-Klettern, 2014, přeloženo Miladou Burianovou, 2015
- [9] Rosmanit, M.: Materiály ze cvičení Ocelové a dřevěné konstrukce, 2015

### **13.3 Internetové zdroje**

- [10] [http://luna.lezec.cz/index.php?option=com\\_content&view=article&id=60&Itemid=65](http://luna.lezec.cz/index.php?option=com_content&view=article&id=60&Itemid=65)
- [11] [http://davar.cz/badatelna/images/komunikace/013a\\_01.jpg](http://davar.cz/badatelna/images/komunikace/013a_01.jpg)
- [12] [https://books.google.cz/llezecke\\_steny\\_historie](https://books.google.cz/llezecke_steny_historie)
- [13] <http://www.techwood.sk/images/640x480/43-07082009.jpg>
- [14] <http://www.lezec.cz/fotos/clanky13/c130713a.jpg>
- [15] <http://www.metalfix.cz/chemicka-kotva-ampule-rm-m10-90-otvor-12mm-eta7/d-2703/>
- [16] <http://www.metalfix.cz/mosazna-hmozdinka-mms-12-40mm-m12-vrtak-15mm/d-5420/>

## **14 Přílohy**

Příloha 1 – Vnitřní síly v prutech (tištěná verze i na CD)

Příloha 2 – Posudky prutů (tištěná verze i na CD)

Příloha 3 – Technická zpráva (tištěná verze i na CD)

Příloha 4 – Výkresová dokumentace (tištěná verze i na CD)